COMMITTENTE:

RFI RETE FERROVIARIA ITALIANA
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

ALTA SORVEGLIANZA:

ITALFERR
GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE

GENERAL CONTRACTOR:

Consorzio Collegamenti Integrati Veloci

LEGGE N. 55 DEL 14/06/2019
TRATTA A.V./A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI

POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI - BRIGNOLE
PROGETTO DEFINITIVO
PRG DI GENOVA VOLTRI

PRG DI GENOVA VOLTRI
IDRAULICA E IDROLOGIA
Rio San Giuliano

Relazione di modellazione idrologica-idraulica

Firmato digitalmente da
Paolo COSTA MEDICH

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI	
Consorzio **Cociv** Ing. G. Irace		

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
NG2Y	04	D	CV	RH	ID0000	001	G

PROGETTAZIONE:

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
E00	Revisione a seguito di RdV NG2Y04D37ISID0000005A	SYSTRA SWS	13/05/2024	COCIV	14/05/2024	P. Costa Medich	16/05/2024	Consorzio Collegamenti Integrati Veloci Dott. Ing. Paolo Costa Medich Ordine Ingegneri Prov. TO n. 10306 X
F00	Revisione a seguito di note Regione Liguria	SYSTRA SWS	13/11/2024	COCIV	14/11/2024	P. Costa Medich	15/11/2024	
G00	Revisione a seguito di integrazione volontaria	SYSTRA SWS	13/12/2024	COCIV	16/12/2024	P. Costa Medich	17/12/2024	

	n. Elab.:	File: *NG2Y-04-D-CV-RH-ID00-00-001-G00*

CUP: F81H92000000008

INDICE

INDICE 3
1. INTRODUZIONE 5
2. RIFERIMENTI NORMATIVI 6
3. DISPOSIZIONI NORMATIVE 7
3.1 Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I) 7
3.2 Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.R.G.A.) 11
3.3 Conclusioni 14
4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE 16
4.1 Descrizione del bacino imbrifero del rio San Giuliano 16
4.2 Geolitologia e uso del suolo 17
4.3 Rete di smaltimento acque piovane 18
4.4 Il rio San Giuliano nel tratto in esame 19
4.4.1 Tratto compreso tra il viadotto di Via Cravasco e via Ventimiglia 20
4.4.2 Tratto compreso tra via Ventimiglia e via Pra 21
4.4.3 Tratto compreso tra via Pra e lo sbocco a mare 22
5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO SAN GIULIANO 23
5.1 Descrizione dell'intervento in esame 23
5.2 Quadro generale dei lavori eseguiti e future realizzazioni 24
6. ANALISI IDROLOGICA 27
6.1 Analisi pluviometriche cenni 27
6.1.1 Precipitazioni di durata orarie: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel 27
6.1.2 Precipitazioni di breve durata: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Bell28
6.2 Cambiamenti climatici 30
6.2.1 I cambiamenti climatici in Italia 30
6.2.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale 32
6.2.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto 33
6.3 Portata al colmo della piena 34
6.3.1 Metodo CIMA 35
6.4 Idrogramma di piena - Modellazione idrologica tramite codice Hec-Hms 36
6.4.1 Fondamenti matematico-numerici del codice 36
6.4.2 Dati di input 40
6.4.3 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n stazione Madonna delle Grazie 43
6.4.4 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n incrementati a causa dei cambiamenti climatici 45

6.4.5 Idrogrammi di progetto 47
7. MODELLAZIONE IDRAULICA 49
7.1 Fondamenti matematico- numerici del codice Hec-RAS 49
7.1.1 Modello monodimensionale 49
7.1.2 Modello bidimensionale 50
7.2 Dati di input 52
7.2.1 Geometria San Giuliano – Stato attuale 52
7.2.2 Geometria San Giuliano– Stato di progetto 55
7.2.3 Geometria piana alluvionale 66
7.2.4 Idrogrammi di piena 66
7.2.5 Condizioni al contorno 67
7.2.6 Parametri idraulici 67
7.2.7 Scenari di simulazione 68
7.3 Risultati della modellazione idraulica 68
7.3.1 Stato Attuale 68
7.3.2 Stato Progetto - Scenario 1 77
7.3.3 Stato Progetto - Scenario 2 89
7.3.4 Stato Progetto - Scenario 3 101
7.3.5 Considerazioni conclusive 112
8. COMPATIBILITÁ IDRAULICA 114
8.1 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 1) 114
8.1.1 Franchi idraulici 115
8.2 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 2) 119
8.2.1 Franchi idraulici 120
8.3 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 3) 123
8.3.1 Franchi idraulici 123

1. INTRODUZIONE

Il Progetto del PRG di Genova Voltri rientra nel perimetro del progetto "Potenziamento Infrastrutturale Genova Voltri-Genova Brignole", a sua volta ricompreso nel più esteso "Progetto

Unico del Terzo Valico dei Giovi e Nodo di Genova".

Obiettivo del progetto è il potenziamento del fascio merci con la realizzazione di 7 binari a 750m e la realizzazione della nuova stazione di Genova Voltri e della nuova fermata di Genova Prà-Palmaro.

Il progetto si svilupperà in 2 macrofasi principali.

Limitatamente agli interventi previsti sul rio San Giuliano la suddivisione è la seguente:

- MACROFASE1: realizzazione degli interventi previsti tra la rotonda della viabilità portuale esistente e lo sbocco a mare;
- MACROFASE 2: realizzazione di interventi nel tratto compreso tra la SS1 e la viabilità portuale esistente

In particolare, la presente relazione costituisce la relazione di modellazione idrologico – idraulica del rio San Giuliano al fine di valutare la compatibilità idraulica del progetto con il corso d'acqua che attraversa l'abitato di Genova località Voltri (GE) e che, con le sue esondazioni, potrebbe potenzialmente mettere in condizioni di pericolosità idraulica le opere in progetto.

Lo studio idrologico-idraulico ha lo scopo di definire l'onda di piena di progetto con tempo di ritorno di 200 anni, tempo di riferimento indicato sia da NTC2018 che da PRGA vigente per le opere idrauliche, e valutare il profilo di campo di moto del corso d'acqua nello stato attuale.

L'esito della modellazione idraulica nello scenario attuale consentirà di definire le opere di sistemazione idraulica da realizzare per mettere in sicurezza gli interventi in progetto da eventuali esondazioni con tempo di ritorno 200 anni.

La modellazione idraulica nello scenario di progetto permetterà di verificare la capacità di smaltimento del corso d'acqua nel rispetto dei vincoli normativi vigenti.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello nazionale e/o europeo:

- 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;
- 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;
- 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;
- 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 – Norme di Attuazione;
- 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 – Relazione Generale;
- 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) – Distretto Appennino Settentrionale.

3. DISPOSIZIONI NORMATIVE

Gli interventi previsti, come qualunque infrastruttura di carattere estensivo, devono inserirsi in un quadro di strumenti legislativi e di pianificazione territoriale sia esistenti che in via d'adozione.

La verifica della compatibilità idraulica delle opere in progetto è svolta con riferimento agli strumenti normativi vigenti in ambito di pianificazione idraulica del territorio e ha l'obiettivo di evidenziare l'assenza di preesistenti aree a pericolosità e rischio idraulico nell'area oggetto di intervento.

Gli strumenti normativi presi a riferimento nella valutazione della compatibilità idraulica delle opere di progetto e le aree di allagamento considerate sono:

- Piano di Bacino Stralcio per la tutela del rischio idrogeologico (P.A.I.) ambito 12 e 13 emanato dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) emanata dall'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

L'Autorità di Bacino ha adottato nel corso del 2002/2003 il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI), strumento d'individuazione delle aree a rischio idraulico ed idrogeologico ai fini della salvaguardia delle aree sensibili per una corretta pianificazione del territorio.

La direttiva europea CE/2007/60, cosiddetta "Direttiva alluvioni", emanata dal Parlamento europeo 23 ottobre 2007, stravolge interamente il quadro normativo, inserendo la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni in Europa. È stata recepita nell'ordinamento italiano con il d.lgs. 49/2010, ad oggetto Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni". La direttiva prevede la definizione del quadro conoscitivo relativo alla pericolosità e rischio da alluvione ed introduce il concetto della "gestione" del rischio nel senso più ampio, sotto il profilo sia delle misure strutturali di mitigazione del rischio per la riduzione delle condizioni di pericolosità sia delle misure non strutturali per la riduzione del danno atteso e del relativo livello di rischio (comprese le necessarie azioni e misure di Protezione Civile).

I Piani di bacino stralcio vigenti, ed analoghi strumenti di pianificazione, a norma di legge (cfr art. 170, c.11, d.lgs. 152/2006), continuano ad essere pienamente applicabili nel territorio di riferimento e le sue disposizioni devono pertanto essere osservate, senza soluzione di continuità.

3.1 Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I)

Per tutti i bacini idrografici di rilievo regionale opera un'unica Autorità di bacino di rilievo regionale, già istituita con la legge regionale n.9/1993, e riorganizzata, a seguito delle disposizioni in materia di riordino delle funzioni delle Province, emanate con la legge regionale n.15/2015, in attuazione della legge n.56/2014.

La Regione, con decreto del Consiglio regionale n.94/1990, ha delimitato i bacini di competenza regionale, raggruppati in venti ambiti, che rappresentano le unità territoriali sulle quali attivare i processi conoscitivi e le successive fasi di programmazione e di intervento della pianificazione di bacino di propria competenza.

I Piani sviluppano un quadro conoscitivo organizzato e aggiornato del sistema fisico di bacino idrografico individuando le situazioni di criticità presenti. Contengono l'analisi delle principali criticità idrauliche e di suscettività al dissesto dei versanti, stabiliscono in ragione delle pericolosità esistenti le norme per non accrescere le situazioni di rischio rilevate e individuano un complesso d'indicazioni d'intervento per la mitigazione del rischio esistente.

Lungo i corsi d'acqua studiati nei piani di bacino sono definite delle aree di pericolosità idrogeologica (fasce di inondabilità) corrispondenti ad aree perifluviali inondabili al verificarsi di eventi di piena con portate al colmo di piena corrispondente a diversi tempi di ritorno (50, 200 e 500 anni) o storicamente inondate, per le quali non siano avvenute modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento, ovvero aree individuate come a rischio di inondazione sulla base di considerazioni geomorfologiche o di altra evidenze di criticità, in corrispondenza delle quali non siano state effettuate nell'ambito dei Piani le adeguate verifiche idrauliche finalizzate all'individuazione delle fasce di inondabilità. All'interno delle diverse fasce di inondabilità sono specificati gli interventi consentiti. Gli interventi in progetto ricadono nell'ambito regionale 12 e 13, la cui ultima variante è stata approvata dal BURL n.47 entrata in vigore il 24/11/2021.

Nella zona di intervento il P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) di riferimento è quello *dell'Ambito n.12 e 13, area 6, Bacini minori e Aree Scolanti nel Ponente Genovese*.

Secondo tale cartografia, l'area limitrofa al rio San Giuliano è classificabile come di seguito illustrato.



Figura 3.1 - Aree inondabili Rio San Giuliano – Classificazione PAI

Dalla sovrapposizione tra gli interventi in progetto e le aree a pericolosità idraulica individuate dalla "Carta delle fasce di inondabilità" del Piano di Bacino Stralcio risulta che l**e opere in progetto ricadono all'interno della fascia A e B.**

Si riportano di seguito gli articoli della normativa di attuazione del Piano di bacino stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico relativamente alle condizioni di interesse nel progetto in essere:

Art.15 Fasce di inondabilità

1. Nelle fasce di inondabilità di cui alla lett. a), comma 2, dell'art. 12, vigono le seguenti norme.

Resta fermo che qualsiasi intervento realizzato nelle aree inondabili non deve pregiudicare la sistemazione idraulica definitiva del corso d'acqua, aumentare la pericolosità di inondazione ed il rischio connesso, sia localmente, sia a monte e a valle, costituire significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena, ridurre significativamente la capacità di invaso delle aree stesse.

2. Nella fascia A, fermo restando che gli interventi ammessi sul patrimonio edilizio esistente non devono comunque aumentarne la vulnerabilità rispetto ad eventi alluvionali, anche attraverso l'assunzione di misure e accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e non devono comportare cambi di destinazione d'uso, che aumentino il carico insediativo anche temporaneo, non sono consentiti:

a) interventi di nuova edificazione, di ampliamento dei manufatti esistenti, e di recupero del patrimonio edilizio esistente eccedenti quelli di restauro o risanamento conservativo, come definito dalla lett. c), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, fatti salvi gli interventi di ristrutturazione edilizia come definita dalla lett. d), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78 ricadenti negli ambiti di tessuto urbano consolidato o da completare mediante interventi di integrazione urbanistico-edilizia sempre all'interno di ambiti già edificati e purché risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile previste nei Piani stessi e nei piani comunali di protezione civile; nel caso di interventi di demolizione con ricostruzione deve essere assicurata la riduzione della vulnerabilità dell'edificio, anche attraverso la messa in opera di tutti gli accorgimenti e le misure finalizzate a tutelare la pubblica incolumità, fermo restando il rispetto delle condizioni previste per procedere ad interventi di ristrutturazione edilizia di cui sopra;

b) l'installazione di manufatti anche non qualificabili come volumi edilizi e la sistemazione di aree che comportino la permanenza o la sosta di persone, salvi gli interventi inseriti nell'ambito di parchi urbani o di aree di verde attrezzato, come individuati dagli strumenti urbanistici comunali vigenti, i cui progetti prevedano l'assunzione delle azioni e delle misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile, purché corredati da parere positivo dell'ufficio regionale competente;

c) la realizzazione di nuove infrastrutture non inquadrabili tra le opere di attraversamento, fatti salvi gli interventi necessari ai fini della tutela della pubblica incolumità e quelli relativi a nuove infrastrutture pubbliche connesse alla mobilità, previo parere favorevole dell'ufficio regionale competente, purché progettate sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica, non aumentino le condizioni di rischio, e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile.

d) interventi di manutenzione, ampliamento o ristrutturazione di infrastrutture pubbliche connesse alla mobilità esistenti, fatti salvi quelli che non aumentano le condizioni di rischio, ed in relazione ai quali risultano assunte le azioni e misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile.

3. Nella fascia B non sono consentiti:

a) gli interventi di nuova edificazione nonché di ristrutturazione urbanistica, come definita dalla lett. e), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, salvi i casi in cui gli stessi siano corredati da parere favorevole dell'ufficio regionale competente, ricadano in contesti di tessuto urbano consolidato, o da completare mediante interventi di integrazione urbanistico-edilizia sempre all'interno di ambiti già edificati, e interessino aree individuate a minor pericolosità in relazione a modesti tiranti idrici e a ridotte velocità di scorrimento, e purché prevedano le opportune misure od accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile;

b) interventi di ampliamento dei manufatti esistenti e di recupero del patrimonio edilizio esistente eccedenti quelli di restauro o risanamento conservativo, come definito dalla lett. c), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, fatti salvi gli interventi di ristrutturazione edilizia, come definita dalla lett. d), comma 1, dell'art. 31 della l. n.457/78, purché non aumentino la vulnerabilità degli edifici stessi rispetto ad eventi alluvionali, anche attraverso l'assunzione di misure e di accorgimenti tecnico-costruttivi di cui all'allegato 5, e purché risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile;

c) gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture connesse alla mobilità non inquadrabili tra le opere di attraversamento, salvi quelli progettati sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica 16, che non aumentino le condizioni di rischio, e in relazione ai quali risultino assunte le azioni e le misure di protezione civile di cui ai presenti Piani e ai piani comunali di protezione civile.

Si riporta inoltre che il testo dell'art. 15 della normativa dei piani di bacino relativo alla "Derogabilità alla disciplina delle fasce di inondabilità per opere pubbliche" riporta:

Art. 15-bis Derogabilità alla disciplina delle fasce di inondabilità per opere pubbliche

1. In deroga alla disciplina relativa alle fasce A e B, ivi inclusi gli eventuali ambiti normativi, di cui ai commi 2,3 e 3bis dell'art.15 possono essere assentite opere pubbliche strategiche indifferibili ed urgenti, riferite a servizi essenziali e non diversamente localizzabili, previa acquisizione di parere obbligatorio e vincolante dell'ufficio regionale competente, a condizione che:

a) non pregiudichino la possibilità di sistemazione idraulica definitiva;

b) non si producano effetti negativi nei sistemi geologico ed idrogeologico;

c) non costituiscano significativo ostacolo al deflusso, non riducano in modo significativo la capacità di invaso, e non concorrano ad incrementare le condizioni di rischio, né in loco né in aree limitrofe;

d) siano realizzate con tipologie progettuali e costruttive compatibili con la loro collocazione, prevedendo in particolare accorgimenti tecnico-costruttivi o altre misure, anche con riferimento all'allegato 5 ai presenti Piani, che consentano l'adeguata protezione dell'opera dagli allagamenti

rispetto alla portata duecentennale senza aggravio di condizioni di pericolosità e rischio in altre aree. In particolare:

- *la quota del piano di calpestio e tutte le aperture, soglie di accesso e prese d'aria delle edificazioni devono essere poste ad un livello adeguatamente superiore a quello del tirante idrico associato alla portata duecentennale;*
- *non sono ammesse in ogni caso strutture interrate, a meno di locali tecnici di servizio adeguatamente protetti;*

e) sia garantito il mantenimento della funzionalità ed operatività proprie della struttura in casi di evento alluvionale;

f) sia prevista nel progetto la messa in opera di tutte le adeguate misure ed azioni di protezione civile, comprese quelle di autoprotezione locale.

2. Ai fini della dichiarazione di indifferibilità ed urgenza di cui al comma 1, deve essere motivato il

carattere di impellenza, improrogabilità e non diversa ubicabilità delle opere e deve essere accertata la copertura finanziaria dell'intera opera.

3. La verifica della sussistenza dei presupposti di applicabilità della deroga di cui al comma 1 viene effettuata in sede di Comitato Tecnico di Bacino.

4. L'ufficio regionale competente esprime il parere previsto sulla base di adeguata documentazione tecnica a corredo della progettazione delle opere in questione e valuta, in particolare, caso per caso, l'effettiva possibilità di messa in opera di misure ed accorgimenti tali da proteggere adeguatamente l'elemento dalle inondazioni e dai connessi possibili danni, nonché l'efficacia e l'affidabilità delle misure di protezione progettate in funzione delle grandezze idrauliche di riferimento. Valuta, inoltre, la possibile influenza sulla dinamica dell'inondazione sia dell'intervento edilizio richiesto sia degli accorgimenti costruttivi proposti, garantendo che non vengano aumentate le condizioni di pericolosità e di rischio nelle aree limitrofe.

5. Il suddetto parere, che ha efficacia per un periodo massimo di 3 anni, viene espresso sulla base del quadro conoscitivo del piano nonché, laddove necessario, di un adeguato studio di compatibilità idraulica che consenta di valutare il rispetto delle condizioni di cui sopra, con particolare riferimento alla compatibilità dell'intervento con le condizioni di inondabilità dell'area, in termini di pericolosità e di rischio, e all'assenza di effetti di incremento dell'esposizione al rischio della popolazione.

3.2 Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (P.R.G.A.)

A seguito della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE e del Dlgs 49/2010 sono state predisposte nel giugno 2013 ai sensi dell'art. 6 del d.lgs. 49/2010, ed oggetto della deliberazione regionale n.1012/2013, le mappature di pericolosità e rischio da alluvioni per gli ambiti fluviali liguri del Distretto Idrografico Appennino Settentrionale.

In una fase successiva, sulla base delle suddette mappature sono state avviate le attività per la redazione del Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA) - di competenza delle Autorità distrettuali, ma a cui le Regioni concorrono per il territorio di competenza. Il 22 dicembre 2014 sono

stati depositati per la pubblicazione e l'avvio delle fasi di osservazioni i PGRA per i due distretti di interesse per il territorio ligure.

Per la redazione delle mappature di pericolosità da alluvione da corso d'acqua, sono state rappresentate le aree di possibile inondazione per un dato tempo di ritorno secondo il seguente schema derivante dall'art. 6 del d.lgs. 49/2010, e in accordo con quanto già effettuato nei piani di bacino regionali vigenti:

classe P3 / scenario H: aree allagabili frequentemente, TR 30-50 anni;

classe P2 / scenario M: aree allagabili poco frequenti, TR = 200 anni;

classe P1 / scenario L: aree allagabili rare; TR= 500 anni.

Considerando invece, le aree allagabili di dominio fluviale come classificate dalla mappa del P.R.G.A. (Piano di Gestione del Rischio di Alluvione) la zona di intervento è descritta come mostrato in Figura 3.2.

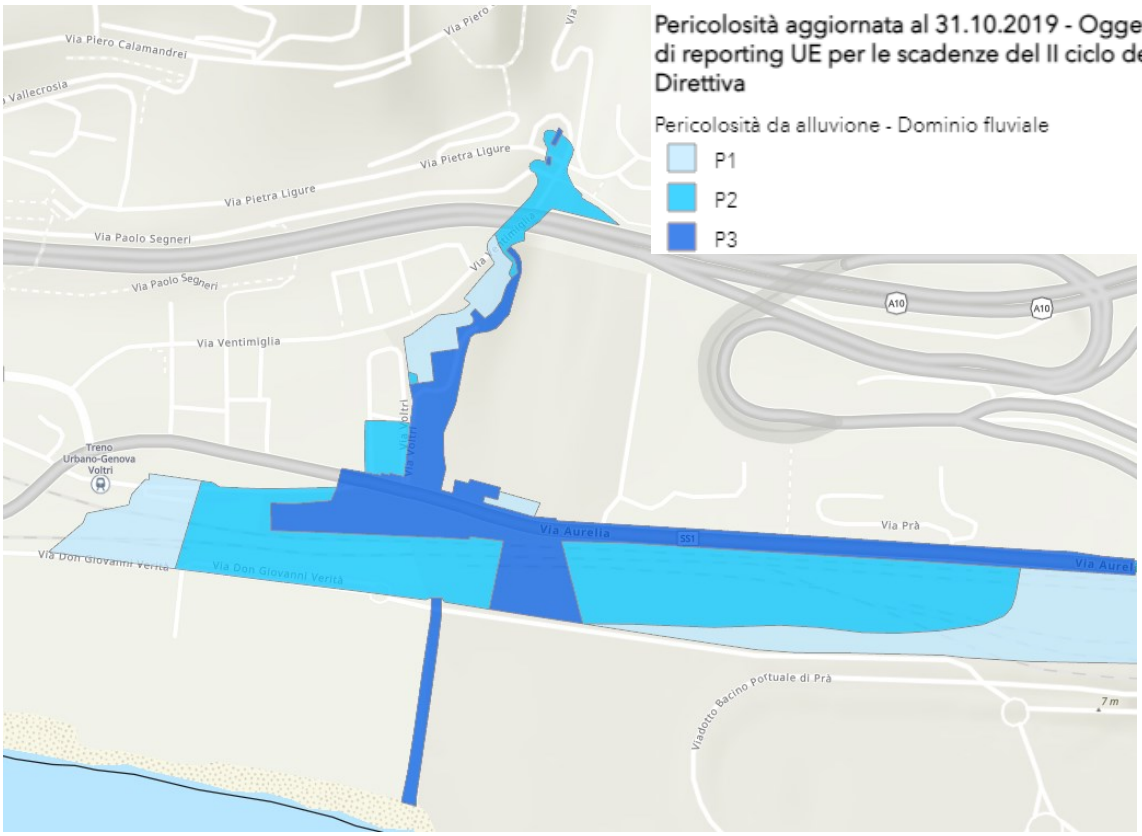


Figura 3.2 - Aree inondabili dominio fluviale Rio San Giuliano – Classificazione PRGA

Dalla sovrapposizione tra gli interventi in progetto e le aree rappresentate nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni risulta che **le opere in progetto ricadono in aree P2 e P3**.

Si riportano gli articoli del PRGA 7 e 9 recanti le norme e gli articoli 8 e 10 contenenti gli indirizzi per gli strumenti di governo del territorio per le aree a pericolosità rispettivamente elevata (P3) e media (P2).

"Art. 7. Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Norme

1. Nelle aree P3, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 8.

2. Nelle aree P3 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.

3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P3.

Art. 8 – Aree a pericolosità da alluvione elevata (P3) – Indirizzi per gli strumenti di governo del territorio

1. Fermo quanto previsto all'art. 7 e all'art. 14 comma 9, nelle aree P3 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio, si attengono ai seguenti indirizzi:

a) sono da evitare le previsioni di:

- *nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;*
- *nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *sottopassi e volumi interrati*

b) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di

- *nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- *interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;*
- *nuove edificazioni*

c) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di interventi di ristrutturazione urbanistica;

d) sono da privilegiare le previsioni di trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica, alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive.

Art. 9 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Norme

1. Nelle aree P2, per le finalità di cui all'art. 1, sono da consentire gli interventi che possano essere realizzati in condizioni di gestione del rischio, fatto salvo quanto previsto al seguente comma 2 e al successivo art. 10.

2. Nelle aree P2 da alluvioni fluviali l'Autorità di bacino distrettuale si esprime sulle opere idrauliche in merito all'aggiornamento del quadro conoscitivo con conseguente riesame delle mappe di pericolosità.

3. Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Art. 10 – Aree a pericolosità da alluvione media (P2) – Indirizzi per gli strumenti governo del territorio

1.Fermo quanto previsto all'art. 9 e all'art. 14 comma 9, nelle aree P2 per le finalità di cui all'art. 1 le Regioni, le Province, le Città Metropolitane e i Comuni, nell'ambito dei propri strumenti di governo del territorio si attengono ai seguenti indirizzi:

a) sono da subordinare, se non diversamente localizzabili, al rispetto delle condizioni di gestione del rischio, le previsioni di:

- *nuove opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali;*
- *nuovi impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *sottopassi e volumi interrati*

b) sono da subordinare al rispetto delle condizioni di gestione del rischio le previsioni di:

- *nuove infrastrutture e opere pubbliche o di interesse pubblico;*
- *interventi di ampliamento della rete infrastrutturale primaria, delle opere pubbliche e di interesse pubblico riferite a servizi essenziali e degli impianti di cui all'allegato VIII alla parte seconda del decreto legislativo 152/2006;*
- *nuovi impianti di potabilizzazione e depurazione;*
- *nuove edificazioni*

c) sono da privilegiare le trasformazioni urbanistiche tese al recupero della funzionalità idraulica alla riqualificazione e allo sviluppo degli ecosistemi fluviali esistenti, nonché le destinazioni ad uso agricolo, a parco e ricreativo – sportive."

3.3 Conclusioni

Dalla diamina della cartografia sopra riportata emerge che le mappature dei piani P.A.I. e P.G.R.A. coincidono nell'area in esame, a meno dell'influenza da alluvione di dominio costiero riportata esclusivamente nel P.G.R.A.; trovandosi gli interventi in progetto in area classificate a pericolosità idraulica, si rende necessaria una relazione di compatibilità idraulica per andar a definire la variazione di allagamenti tra lo stato di fatto e quello di progetto.

In tal senso, nella zona di intervento è il P.A.I. che:

- 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.

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:

- Norme Tecniche delle Costruzioni 2018 (NTC).
- Circolare Applicativa delle NTC 2018.
- Manuale di Progettazione Ferroviaria 2021 (MdP).

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

- 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."

4. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

4.1 Descrizione del bacino imbrifero del rio San Giuliano

Il bacino del rio San Giuliano, di estensione circa 1.0 km^2, ha una direzione principale N-S ed è delimitato a levante dal bacino del rio Madonnette mentre a nord e ovest dal bacino del torrente Leiro.

Il bacino è caratterizzato così come gli altri bacini minori del Ponente Genovese, da forti acclività, pendenza media del 25%, una breve distanza tra spartiacque e l'asta principale, una piana costiera stretta e da una forte antropizzazione del fondovalle nei tratti mediano e terminale.



Figura 4.1 – Delimitazione bacino rio San Giuliano su ortofoto

Il rio San Giuliano nasce alle spalle dell'abitato di Voltri, in località Quartiere Canova, alle pendici del monte Amandola, ad una quota di 275 m s.l.m e procede in direzione N-S per circa 1.85 km sino ad immettersi in mare, con una pendenza di circa il 14%. Il corso d'acqua si presenta quasi sempre tombato tranne nel tratto che corre tra via Ventimiglia e la via Aurelia.

4.2 Geolitologia e uso del suolo

Il bacino del rio San Giuliano, come possibile evincere dalla *Relazione Generale dell'Ambito 12 e 13 del PAI, "si inserisce in un contesto geologico strutturalmente piuttosto complesso. Si trovano infatti nello stesso ambito territoriale, rocce appartenenti alle Unità metamorfiche di alta pressione del Gruppo di Voltri, della zona Sestri Voltaggio e delle Unità della Val Polcevera"*.

La parte apicale del bacino, costituita da Serpentiniti e serpentinoscisti (sr, sns -BEI) si presenta molto acclive, aspra, con suolo esiguo o assente, dove sono piuttosto diffusi fenomeni dovuti al dilavamento delle acque di scorrimento superficiale che, in caso di piogge intense, scavano solchi piuttosto incisi.

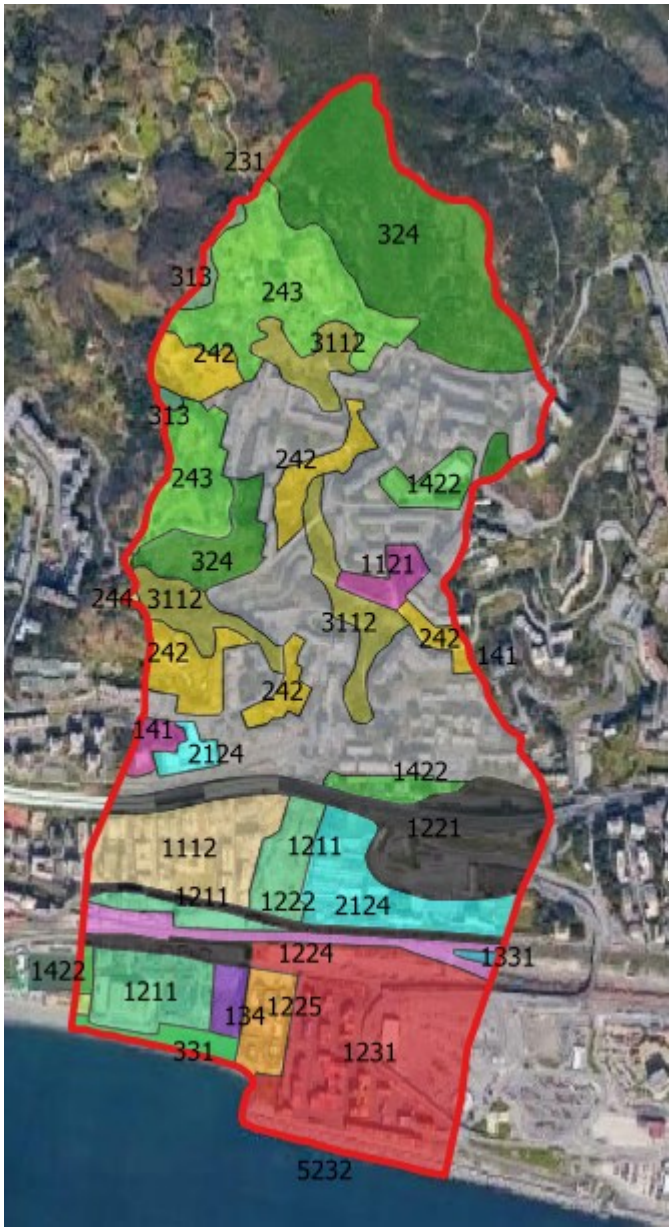
La parte terminale del bacino è invece caratterizzata da Calcescisti. (cs-TUR) e presenta versanti acclivi, con copertura diffusa di coltri eluvio-colluviali di potenza compresa tra 1 e 3 m, ma localmente anche >3m.

La permeabilità del bacino può essere desunta da una riclassificazione della geolitologia:

- parte apicale: permeabilità per fessurazione;
- parte terminale: semipermeabilità.

Per quanto concerne invece l'uso del suolo, i territori modellati artificialmente occupano una rilevante parte del bacino circa il 56% dell'area totale.

Le zone urbanizzate si presentano infatti in modo continuo lungo la costa e si estendono anche nell'area interna. I territori agricoli non sono particolarmente estesi e sono caratterizzate da zone agricole eterogenee in prossimità degli insediamenti. Infine, la parte apicale del bacino è coperta da territori boscati e da vegetazione arbustiva.



LEGENDA CARTA USO SUOLO

1	TERRITORI MODELLATI ARTIFICIALMENTE
1.1	ZONE URBANIZZATE
1.1.1	tessuto urbano continuo
1.1.2	tessuto urbano discontinuo
1.2	ZONE INDUSTRIALI COMMERCIALI E RETI DI COMUNICAZIONE
1.2.1	aree industriali e commerciali
1.2.2	reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori
1.2.3	aree portuali
1.2.4	aeroporti
1.3	AREE ESTRATTIVE E DISCARICHE
1.3.1	aree estrattive
1.3.2	discariche
1.4	ZONE VERDI ARTIFICIALI NON AGRICOLE
1.4.1	aree verdi urbane
1.4.2	aree verdi sportive
2	TERRITORI AGRICOLI
2.1	SEMINATIVI
2.1.1	seminativi in aree non irrigue T Terrazzati
2.1.2	seminativi in aree irrigue T Terrazzati
2.1.2.1	seminativi, vivai, colture ortofloricole in piena aria T Terrazzati
2.1.2.2	seminativi, vivai, colture ortofloricole in serra T Terrazzati
2.2	COLTURE PERMANENTI ARBOREE
2.2.1	vigneti T Terrazzati
2.2.2	frutteti T Terrazzati
2.2.3	oliveti T Terrazzati
2.3	PRATTI E PASCOLI
2.4	ZONE AGRICOLE ETEROGENEE
2.5	EX COLTIVI
3	TERRITORI BOSCATI ED AMBIENTI SEMINATURALI
3.1	praterie
3.2	zone boscate
3.3	zone caratterizzate da vegetazione arbustiva
3.4	zone con vegetazione rada o assente
3.4.1	spiagge, dune
3.4.2	rocce nude
3.4.3	aree con vegetazione rada (calanchi conoidi)
3.4.4	aree percorse da incendi recenti inf. a 2 anni

Figura 4.2 – Delimitazione bacino rio San Giuliano con uso del suolo su ortofoto

4.3 Rete di smaltimento acque piovane

In Figura 4.3 viene mostrata la rete di fognatura bianca/mista che drena ampie porzioni della area urbanizzata del bacino al di fuori del bacino idrografico. Nonostante queste aree non concorrano alla formazione dell'onda di piena, viene comunque considerata, a favore di sicurezza, come contribuente l'intera area del bacino orografico.



Figura 4.3 – Delimitazione bacino rio San Giuliano su ortofoto, con indicata in giallo la rete di smaltimento acque presente nel bacino.

4.4 Il rio San Giuliano nel tratto in esame

A partire dal Quartiere Canova sino a via Ventimiglia (attraversamento autostradale) e da via Pra (SS1 - Aurelia) fino allo sbocco a mare il corso d'acqua si presenta interamente tombato.

Nel tratto compreso tra il tracciato autostradale e via Pra il rio risulta scoperto con alveo delimitato da argini in muratura o in c.a..

Di seguito si riporta una breve descrizione del tratto d'alveo suddiviso, procedendo da monte verso valle, in funzione dei manufatti e dei punti significativi presenti in alveo:

- Tratto compreso tra il viadotto di Via Cravasco e via Ventimiglia (L=90 m circa);

- Tratto compreso tra via Ventimiglia e via Pra (L=200 m circa);

- Tratto compreso tra via Pra e lo sbocco a mare (L=80 m circa).

Per maggiori informazioni, si rimanda alla Relazione Idraulica Generale del Progetto Definitivo "Interventi di sistemazione idraulica Rio San Giuliano" del 2021.

4.4.1 Tratto compreso tra il viadotto di Via Cravasco e via Ventimiglia

In tale tratto il corso d'acqua risulta tombato ad esclusione di due brevi tratti in corrispondenza del viadotto di via Cravasco.

Le sezioni sono di forma rettangolare con larghezza pari a 3.4 m circa e altezza variabile da 2.7 m a 3.0 m circa.

Il tratto terminale della tombinatura, a valle di via Ventimiglia, ha una luce libera (pari a 2.5 m circa) inferiore rispetto al tratto di monte. La pendenza media del tratto è pari all'3% circa.



Figura 4.4 – Uscita dalla tombinatura a monte di via Ventimiglia.

4.4.2 Tratto compreso tra via Ventimiglia e via Pra

In tale tratto l'alveo è a cielo aperto ed è delimitato in sponda destra da muri d'argine in c.a. e/o in muratura e in sponda sinistra dall'edificio dell'ex-fabbrica Verrina.

Le sezioni sono approssimativamente di forma rettangolare con larghezza variabile da un minimo di 2.5 m a un massimo di 5.6 m circa. La pendenza media del tratto è pari al 2.7% circa.



Figura 4.5 – Vista da monte del tratto descritto.



Figura 4.6 – Vista da monte della tombinatura esistente al di sotto di Via Aurelia.

4.4.3 Tratto compreso tra via Pra e lo sbocco a mare

Tale tratto risulta tombinato da monte di via Voltri fino a valle della linea ferroviaria Genova-Ventimiglia, ad esclusione di un breve tratto di 2 m circa a cielo aperto a valle di via Voltri.

La pendenza media del tratto è pari all' 1% circa.

Le sezioni sono di forma rettangolare con larghezze variabili da 1.7 m a 4.5 m e sono caratterizzate da un'altezza dall'intradosso pari a 2 m circa; il fondo alveo è costituito da una platea in c.a.

5. INTERVENTI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO SAN GIULIANO

5.1 Descrizione dell'intervento in esame

Il progetto definitivo di potenziamento infrastrutturale Voltri – Brignole prevede l'incremento del modulo utile associato ai binari costituenti il Fascio merci della stazione di Genova Voltri, nonché la nuova configurazione del Fascio Ponente (fascio prospiciente il FV storico di Genova Voltri).

Gli interventi al parco ferroviario prevedono un incremento dell'ingombro dello stesso e la conseguente traslazione verso la costa dell'attuale strada a servizio della viabilità portuale.

Nell'ambito di tali lavori si vanno ad interessare due differenti corsi d'acqua, il rio San Giuliano ed il Rio Madonnette.

In particolare, per quanto concerne il rio San Giuliano è previsto:

- il rifacimento del tratto di rio compreso tra via Aurelia (SS1) e la foce, per una lunghezza complessiva di circa 220 m:
    - Tratto a cielo aperto di lunghezza circa 5.40 m, immediatamente a monte della via Aurelia mediante sezione rettangolare ad U 8.5 con altezza non inferiore a 2.5 m;
    - Manufatto idraulico a sezione scatolare 8.5x2.28m di lunghezza circa 20 m;
    - Tratto a cielo aperto di lunghezza 18.10 m tra via Aurelia e il parco ferroviario, mediante sezione a U 8,5 con altezza non inferiore a 4.45m;
    - Tratto realizzato mediante sezione scatolare 8.5x2.28m di lunghezza circa 90 m;
    - Tratto a sezione a U 8.5x2.5m in cls di lunghezza circa 25 m;
    - Riprofilatura sezione di deflusso con rifacimento fondo e sponde del tratto terminale del rio

La pendenza media del tratto d'alveo realizzato mediante sezione scatolare a valle della via Aurelia è stata posta pari allo 0.9% dovendo rispettare i vincoli costruttivi imposti dalla quota dei binari ferroviari al di sopra del manufatto.

Infine, il tratto d'alveo a cielo aperto a valle dello scatolare è stato previsto con un'unica pendenza del fondo pari a circa l'1%.

In merito alla soluzione tecnica adotta vale la pena ricordare quanto si riporta nel Piano di Bacino in merito alle condizioni in cui verte l'attraversamento sotto la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia:

"*La sezione della tombinatura sottostante via Voltri (GIU1C) risulta gravemente insufficiente al defluire della portata cinquecentennale e presenta un franco di sicurezza insufficiente al defluire della portata duecentennale. In questo caso quindi si potrebbero verificare allagamenti nella zona circostante via Voltri".*

Il documento del Piano di Bacino, che individua gli interventi necessari a ridurre pericolosità/rischio idraulico della zona, evidenzia la necessità di procedere all':

"Adeguamento del tratto di tombinatura sottostante via Voltri e la linea ferroviaria Genova-Ventimiglia (GIU1C), con una sezione di dimensioni indicative 4.5 x 3.5 m, che consentirebbe il deflusso della portata duecentennale con un franco di sicurezza adeguato (A6-ID1). Ipotizzando costante la sezione della tombinatura in questione, tale intervento dovrà essere completato con l'adeguamento della canalizzazione in area portuale fino allo sbocco a mare ".

Tra l'altro il progetto definitivo "POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI-BRIGNOLE: COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE DI TRACCIATO TRA GENOVA VOLTRI E GENOVA PEGLI, CON SISTEMAZIONE A P.R.G. DELLA STAZIONE DI GENOVA VOLTRI", redatto da Italferr nel 2006, prevedeva la sistemazione del Rio San Giuliano per una lunghezza complessiva di circa 225 m con una sezione tipo del corso d'acqua costituita da due fornici, ognuno di dimensioni BxH = 4.00 x 3.00 m.

La sistemazione era stata suddivisa in 3 tratti distinti: di seguito se ne riporta una breve descrizione, procedendo da monte verso valle:

- I tratto di lunghezza di 102 m, costituito da un tombino a due fornici;
- II tratto di lunghezza di circa 93 m, realizzato con una sezione aperta di larghezza 8.5 m;
- III tratto di lunghezza di 29.80 m, costituito da un tombino a due fornici.

Sempre nel PD 2006 si riporta che "nella sezione d'imbocco dell'opera, il franco rispetto al livello idrico è superiore ad 1.00 m, in conformità alle specifiche riportate negli allegati tecnici del Piano di Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino di Genova".

Infine il Progetto di fattibilità tecnico economica PROGETTO UNICO TERZO VALICO DEI GIOVI E NODO FERROVIARIO DI GENOVA -PRG DI GENOVA VOLTRI prevedeva la realizzazione dell'intervento descritto all'inizio del presente paragrafo con una pendenza del fondo dell'alveo dell'1%.

Pertanto, il progetto qui proposto rappresenta la naturale evoluzione della soluzione tecnica individuata nel Piano di Bacino, del progetto Italferr 2006 e del PFTE 2022 di Italferr, tenendo conto delle esigenze del parco ferroviario in termini di altimetria dei binari e del rispetto della normativa vigente e delle linee guida RFI.

5.2 Quadro generale dei lavori eseguiti e future realizzazioni

La soluzione progettuale perseguita è frutto delle scelte fatte in passato nella zona di interesse; di seguito, si sintetizza la cronistoria degli interventi realizzati sul Rio San Giuliano.

Nel 2006 RFI, con la progettazione di ITALFERR, redigeva il progetto definitivo "POTENZIAMENTO INFRASTRUTTURALE VOLTRI-BRIGNOLE: COMPLETAMENTO DELLA VARIANTE DI TRACCIATO TRA GENOVA VOLTRI E GENOVA PEGLI, CON SISTEMAZIONE A P.R.G. DELLA STAZIONE DI GENOVA VOLTRI". Le previsioni progettuali in esso contenute sono riportate nel precedente paragrafo.

Nel 2007, al fine di procedere alla riqualificazione dell'area ex-Verrina (area adiacente il Rio San Giuliano a valle dello svincolo autostradale), il comune di Genova ha commissionato il progetto preliminare "Interventi di sistemazione idraulica di Rio San Giuliano, da Via Ventimiglia alla foce". Tale progetto è stato poi revisionato nel 2018.

Le simulazioni di stato attuale implementate nel suddetto progetto confermavano l'insufficienza degli attraversamenti sotto l'Aurelia e sotto la linea ferroviaria a far defluire la portata 200-ennale senza provocare esondazioni nell'area circostante; in conseguenza di ciò, limitatamente alla zona interferente con il futuro PRG di Voltri, si prevedevano i seguenti interventi:

Tratto a cielo aperto tra via Pra e via XX-Miglia

- Allargamento della sezione di deflusso nel tratto a cielo aperto a monte su una larghezza minima di 4 m sulla pendenza attuale del fondo;

- L'allargamento verrà realizzato in sponda sinistra (area ex Verrina), mantenendo l'attuale allineamento della sponda destra.

Tratto sotto via Pra

- Rifacimento del tratto coperto sotto via Pra con sezione di larghezza 4 m e altezza 4.2 m, pendenza del fondo 2.0%;

- Scoperchiamento di un tratto di tombinatura della lunghezza di circa 7.5 m a monte di via Pra con allargamento della larghezza sino a 4 m;

- Sistemazione fondo alveo in tale tratto con scapitozzamento delle due briglie esistenti in prossimità dell'imbocco della tombinatura e approfondimento del fondo variabile da 0 m a 1.3 m circa.

Tratto sotto area ferrovia

- Rifacimento del tratto terminale coperto sotto l'area ferroviaria, con sezione di larghezza 5 m e altezza variabile tra 3.2 m e 3.9 1 m, pendenza del fondo 2.0%.

Le simulazioni di stato di progetto dimostravano che la sistemazione finale del rio consentiva il deflusso della portata 50-ennale e 200-ennale lungo tutto il tratto senza esondazioni. Per poter rispettare il franco idraulico della tombinatura ai sensi della RR 3/2011 risultava necessario chiedere una deroga del franco fino a 1 m.

Nel 2018, il Comune di Genova ha commissionato il Progetto Definitivo per Autorizzazione alle opere di sistemazione idraulica riguardante "Interventi di sistemazione idraulica Rio San Giuliano", successivamente aggiornato nel 2021.

Tale progetto, non era altro che la fase progettuale successiva al progetto preliminare del 2018 limitatamente al cosiddetto LOTTO 1, ovvero la porzione di asta fluviale di Rio San Giuliano compresa tra Via Ventimiglia e Via Prà (Aurelia SS1). Il progetto in questione era coerente con quanto indicato nel progetto preliminare, che traguardava la sistemazione complessiva dell'intero tratto di corso d'acqua compreso tra l'incrocio con via XX-Miglia e lo sbocco a mare.

Gli interventi del Lotto 1 riguardavano un tratto di lunghezza di circa 30 m a monte di via Pra-Voltri e consistevano sostanzialmente in:

- Allargamento della sezione di deflusso nel tratto a cielo aperto su una larghezza di 4 m;
- Scoperchiamento di un tratto di tombinatura della lunghezza di circa 7.5 m a monte di via Pra con allargamento della larghezza sino a 4 m;
- Adeguamento di un tratto di tombinatura di 6 m circa (sino al limite del marciapiede di via Pra) con sezione interna netta di 4x3 m;
- Sistemazione fondo alveo in tale tratto su una pendenza uniforme dell'1% con scapitozzamento delle due briglie esistenti in prossimità dell'imbocco della tombinatura e approfondimento del fondo variabile da 0 m a 1.3 m circa.
- Realizzazione di rampa di accesso in alveo circa 70 m a monte dell'imbocco della tombinatura di via Prà.

L'intervento è completato dal rialzamento dell'argine di sponda destra nel breve tratto a cielo aperto a valle di via Prà-via Voltri.

Gli interventi previsti nel lotto 1 sono stati ultimati di recente e, pertanto, oltre quanto previsto nel presente progetto, rimangono da ultimare:

- l'allargamento di 1-2.4 m con riprofilatura delle sezioni idrauliche dalla 24 alla 18.

6. ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica svolta nel presente studio ha lo scopo di determinare le onde di piena con tempo di ritorno, 50, 200 e 500 anni.

6.1 Analisi pluviometriche cenni

L'analisi delle precipitazioni è effettuata sui dati ricavati dal sito www.ambienteinliguria.it della Regione Liguria (http://www.cartografiarl.regione.liguria.it/SiraQualMeteo/script/PubAccessoDatiMeteo.asp) e dagli Annali Idrologici disponibili sul sito www.arpal.liguria.it.

La distribuzione spaziale delle piogge è stata valutata mediante il metodo dei poligoni di Thiessen o topoieti, che assegna ad ogni stazione pluviometrica un'area di influenza.

L'area oggetto di intervento ricade in un unico poligono e pertanto la precipitazione cumulata ad essa assegnata risulta la medesima registrata nella stazione di misura contenuta, ovvero la stazione Madonna delle Grazie .

Le precipitazioni estreme vengono espresse in funzione della loro durata attraverso la curva di possibilità pluviometrica, ottenuta dall'elaborazione statistica delle misure dell'altezza di pioggia rilevate a terra; i parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica sono rappresentati da a (mm/h) e n, attraverso la seguente relazione:

$$h = at^n$$

con h=altezza di pioggia in mm e t=tempo di pioggia in ore.

Al fine di definire i suddetti parametri è stato necessario procedere all'elaborazione statistica dei massimi annuali di pioggia per definire la legge probabilistica che, per una prefissata durata di pioggia, correla l'altezza di precipitazione alla "probabilità di non superamento P" (o al tempo di ritorno TR in anni, tale che P = 1 - 1/TR).

6.1.1 Precipitazioni di durata orarie: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Gumbel

La funzione di distribuzione impiegata nello studio dei valori estremi delle variabili idrologiche è quella di Gumbel, detta anche "legge asintotica del massimo valore". In essa, detto h il generico valore di massimo annuale dell'altezza di pioggia, la funzione di probabilità (cioè la probabilità che h non venga superato) è rappresentata dalla seguente relazione:

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha \cdot (h-u)}}$$

nella quale α e u sono i due parametri che "adattano" la funzione alla particolare popolazione studiata.

Parametri curve LSPP t>1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.21	0.341
50	115.96	0.341
100	130.63	0.341
200	145.18	0.341
500	164.43	0.342

Tabella 1: Parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.

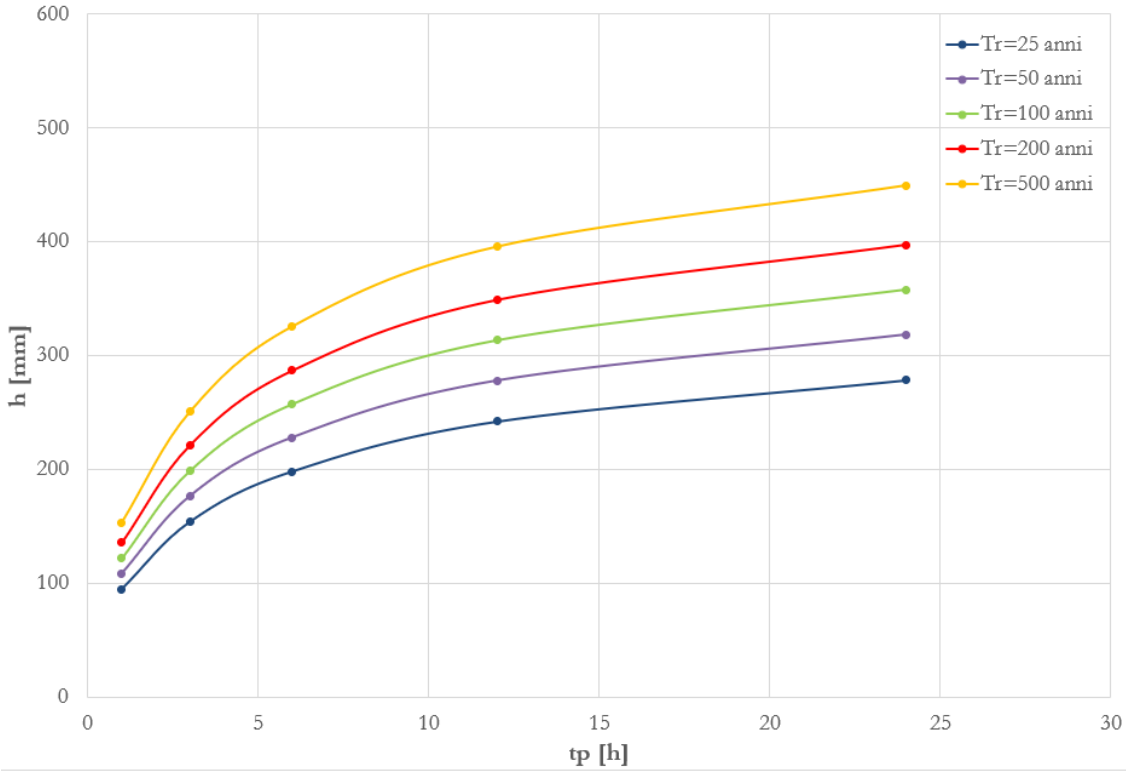


Figura 6.1 LSPP ottenute mediante analisi statistica per le piogge di durata superiori all'ora per tempi di ritorno differenti

6.1.2 Precipitazioni di breve durata: Elaborazione statistica delle registrazioni pluviometriche con Bell

In bacini di limitata estensione e di relativa rapidità dei deflussi, i tempi di corrivazione sono brevi e di conseguenza le precipitazioni da utilizzare nel dimensionamento dei drenaggi e degli smaltimenti sono i cosiddetti scrosci, ovvero precipitazioni intense e con tempi di pioggia inferiori all'ora. L'utilizzo della legge valida per durate maggiori dell'ora risulta spesso troppo cautelativo e poco rappresentativo. Nel caso oggetto della presente relazione per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica per tempi inferiori ad un'ora, è stata utilizzata la formula di Bell (GeneralizedRainfallDurationFrequencyRelationship" – Journal of the HydraulicsDivision –

Proceedings of american Society of CivilEngineers – volume 95, issue 1 – gennaio 1969), riportata di seguito:

$$\frac{h_{\tau,T_r}}{h_{60,T_r}} = (0.54 * \tau^{0.25} - 0.50)$$

dove:

h_{τ},Tr è l'altezza di pioggia espressa in mm di una durata τ e tempo di ritorno Tr;

h_{60},Tr è l'altezza di pioggia relativa ad un evento di durata pari ad un'ora, con periodo di ritorno Tr;

τ è la durata di pioggia espressa in minuti.

Quindi le altezze di pioggia per eventi di durata inferiore all'ora (5< τ <60 min) sono valutabili a partire dai parametri della curva LSPP per d>1h (parametro a = $h60,Tr$), applicando la formula di Bell sopra riportata.

Parametri curve LSPP t<1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	101.11	0.484
50	115.64	0.484
100	130.07	0.484
200	144.44	0.484
500	163.39	0.484

Tabella 2: Parametri a ed n per i vari tempi di ritorno considerati.

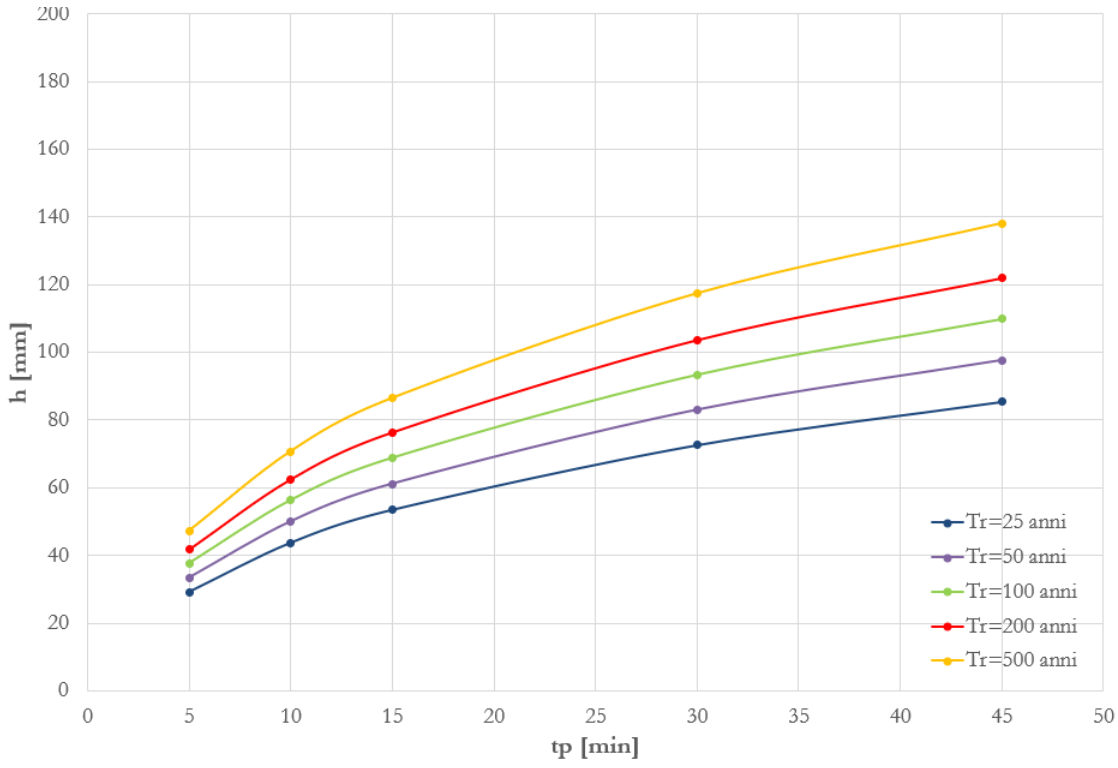


Figura 6.2 LSPP ottenute mediante analisi statistica per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti

6.2 Cambiamenti climatici

6.2.1 I cambiamenti climatici in Italia

Nell'ambito della presente relazione, risulta indicato valutare gli effetti dei cambiamenti climatici, che rappresentano una delle sfide più rilevanti del nostro tempo. Gli studi più autorevoli evidenziano che l'Europa meridionale e l'area mediterranea dovranno fronteggiare nei prossimi anni gli impatti più significativi dei cambiamenti climatici e saranno fra le aree più a rischio del pianeta, in particolare per l'aumento delle temperature, la variazione delle precipitazioni e la maggiore frequenza ed intensità di eventi estremi (ondate di calore, alluvioni improvvise, siccità, incendi ecc.).

Il cambiamento climatico per un determinato sito o territorio può essere definito in due modi diversi e, per molti aspetti, complementari, ovvero:

- come variazione significativa negli indici statistici che caratterizzano una o più variabili meteorologiche;
- come variazione significativa nella frequenza e persistenza dei tipi di tempo atmosferico.

Tali variazioni possono essere "forzate" e cioè indotte da modifiche intervenute nei fattori naturali o antropici del clima (ad esempio cambiamenti nell'uso del suolo, modificazione nella composizione atmosferica, ecc.) oppure "non forzate" e cioè frutto della variabilità interna al sistema climatico che, essendo un sistema turbolento ed intrinsecamente caotico, è soggetto a tali fenomeni.

Mentre la conoscenza del clima presente e passato e delle variazioni in corso si fonda sull'osservazione delle variabili climatiche e sull'applicazione di metodi e modelli statistici di riconoscimento e stima delle tendenze in corso, la conoscenza del clima futuro si basa sulle proiezioni dei modelli climatici.

Tali proiezioni climatiche forniscono la probabilità con cui determinate variazioni del clima possono verificarsi nei prossimi decenni, in relazione a diverse possibili evoluzioni dello sviluppo socioeconomico globale; esse sono quindi strettamente correlate a diversi andamenti di emissioni di gas climalteranti nell'atmosfera.

I modelli climatici possono essere classificati in due categorie, globali e regionali, che contraddistinguono la diversa scala spaziale delle simulazioni del clima futuro.

I quattro nuovi modelli a scala globale, *Representative Concentration Pathways* – RCP includono uno scenario di mitigazione, che stima un valore molto basso della forzante radiativa al 2100 (2.6 W/m2 - RCP2.6), due scenari intermedi (4.5 W/m2 - RCP4.5 e 6 W/m2- RCP6) e uno scenario caratterizzato da un'elevata emissione e da un elevato valore della forzante radiativa (8.5 W/m2 - RCP8.5).

Recentemente l'ISPRA ha condotto l'analisi e il confronto tra le proiezioni climatiche in Italia più aggiornate prodotte da diversi modelli. ("*Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali*", 2015). Dall'insieme degli output dei modelli climatici disponibili, sono state estratte e analizzate le proiezioni di precipitazione cumulata annuale fino al 2100 di quattro modelli (ALADIN,

GUF, CMCC, LMD) e della loro media (ensemble) negli scenari di emissione RCP4.5 e RCP8.5. Nello specifico, sono stati selezionati i dati che ricoprono l'intero territorio nazionale e per tre orizzonti temporali, rappresentati da periodi di 30 anni (2021-2050, 2041-2060 e 2061-2090), sono stati calcolati sia i valori medi che gli indici rappresentativi degli estremi di precipitazione.

Nelle figure seguenti, si riportano le mappe delle variazioni della precipitazione massima giornaliera (in 24 ore) previste da quattro modelli climatici (ALADIN, GUF, CMCC, LMD), nonché la variazione "media d'insieme" (ENSEMBLE MEAN), con riferimento ai tre orizzonti temporali considerati: 2021-2050; 2041-2070; 2061-2090, per i due scenari RCP4.5 e RCP8.5, a scala nazionale.

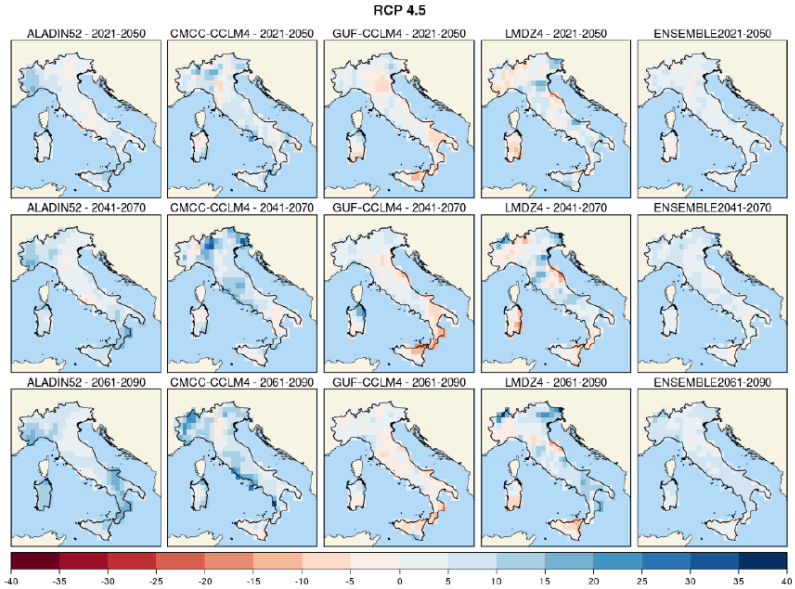


Figura 6.3 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP4.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga) SPP ottenute con metodologia VAPI per gli scrosci e per tempi di ritorno differenti.

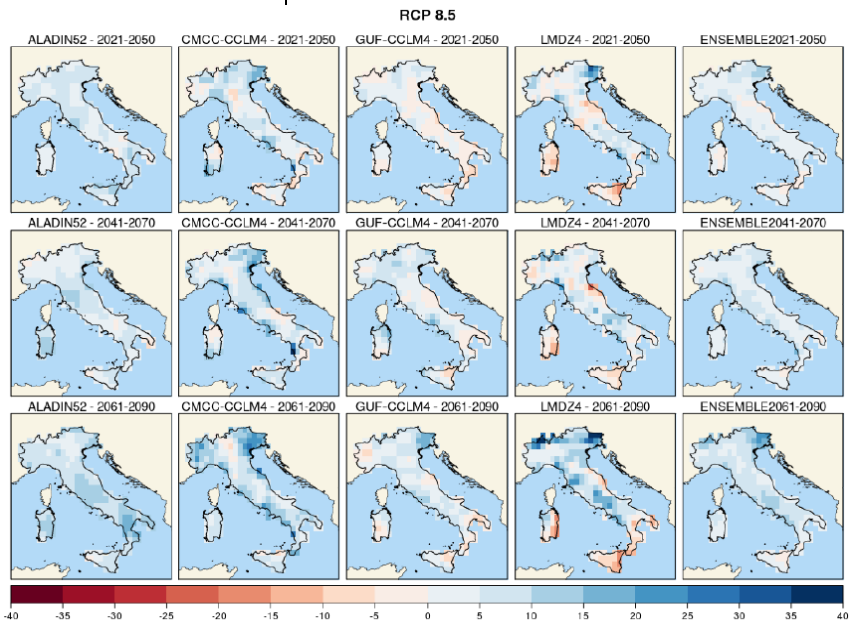


Figura 6.4 Precipitazione massima giornaliera (mm), scenario RCP8.5. Mappe delle variazioni previste dai modelli climatici per i tre orizzonti temporali 2021-2050 (prima riga), 2041-2070 (seconda riga), 2061-2090 (terza riga).

In entrambi gli scenari, due modelli climatici indicano un aumento delle precipitazioni massime giornaliere su quasi tutto il territorio nazionale, di entità generalmente modesta (inferiore a 10 mm) ma con punte superiori a 20 mm in alcune zone.

6.2.2 I cambiamenti climatici a scala distrettuale

L'art. 14.4 della *Flood Directive* (di seguito "FD") richiede che sia preso in considerazione il probabile impatto dei cambiamenti climatici sull'occorrenza delle piene; oltre a ciò, il Consiglio dei Ministri dell'Ambiente Europei riconosce che le alluvioni di grave entità sono divenute più frequenti in Europa e che i cambiamenti climatici costituiscono un fattore aggravante poiché causano modifiche nell'andamento delle condizioni metereologiche, del regime delle precipitazioni e del livello del mare e sottolinea la necessità di migliorare la conoscenza e la modellazione dell'impatto dei cambiamenti climatici su tutti i tipi di alluvione.

In linea con la Strategia Europea di Adattamento al Cambiamento Climatico (SEACC), adottata dalla CE il 16 aprile 2013, il MiTE ha adottato, con Decreto della DG Direzione Clima ed Energia n. 86 del 16/06/2015, la Strategia Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (SNACC), in cui sono individuati i percorsi comuni da intraprendere per far fronte agli impatti previsti.

Il Piano Nazionale di Adattamento al Cambiamento Climatico (PNACC), attualmente in fase di approvazione, è finalizzato all'attuazione della Strategia Nazionale attraverso l'aggiornamento e la migliore specificazione dei suoi contenuti ai fini operativi. Il PNACC individua sul territorio nazionale sei macroregioni climatiche omogenee, rispetto alle quali, il territorio distrettuale dell'Appennino Settentrionale ricade per la maggior parte nella Macroregione 1 (Prealpi e Appennino Settentrionale), in parte nella Macroregione 2 (Pianura Padana, alto versante Adriatico e aree costiere dell'Italia centro-meridionale) e in parte nella Macroregione 5 (Italia centro-settentrionale).

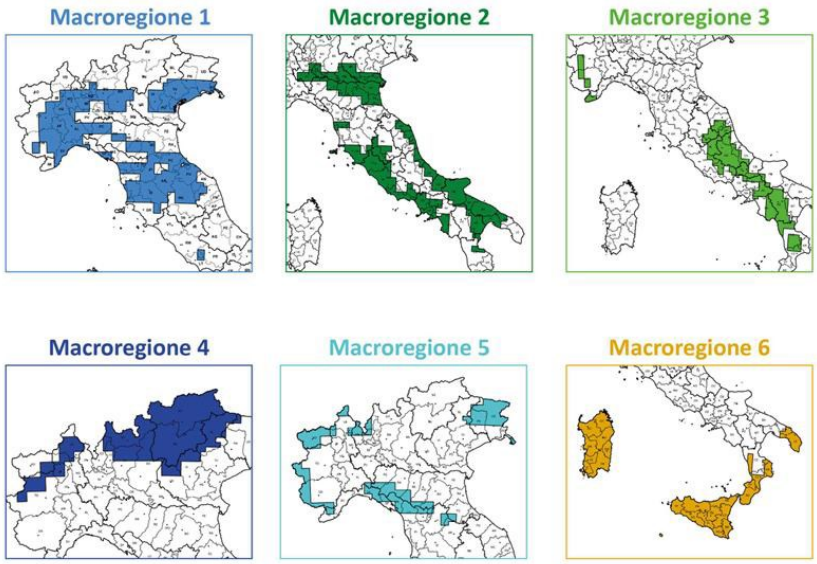


Figura 6.5 – PNACC – Zonazione climatica sul periodo di riferimento (1981-2010)

Per quanto attiene gli effetti del cambiamento climatico sul dissesto idrogeologico, il PNACC mette in evidenza i potenziali incrementi relativi alla frequenza e all'intensità di alcune tipologie di eventi atmosferici (ad esempio, piogge di breve durata ed elevata intensità). Tali fenomeni comportano, in generale, una variazione di frequenza dei fenomeni di dissesto idraulico nei bacini di estensione minore e a permeabilità ridotta che rispondono più velocemente alle sollecitazioni meteoriche e hanno ridotto effetto attenuante nei confronti delle precipitazioni di breve durata e forte intensità.

In linea con quanto appena riportato, si procede, dunque, ad una revisione degli input di pioggia che possono verificarsi sul territorio di interesse; le considerazioni seguenti sono sviluppate con riferimento al documento "Il clima futuro in Italia: analisi delle proiezioni dei modelli regionali" (ISPRA, 2015) ed alle corrispondenti Figura 6.3 e Figura 6.4.

6.2.3 Revisione degli input pluviometrici di progetto

In particolare, nella tabella seguente, si riportano i valori di variazione "media di insieme" (ENSEMBLE MEAN) di precipitazione massima giornaliera (h24) (rispetto al valore medio nel periodo climatologico di riferimento 1971-2000), prevista nell'area di intervento, per i tre orizzonti temporali: 2021-2050, 2041-2070, 2061-2090, con riferimento allo scenario "massimo" di emissione RCP8.5, dedotti da Figura 6.3 e Figura 6.4, da utilizzare per la verifica degli elementi idraulici.

INTERVENTO	Variazione media h_{24} (RCP8.5) [mm]		
	2021-2050	2041-2070	2061-2090
PRG Genova Voltri	+ 5-10	+ 5-10	+ 5-10

Tabella 3: Variazioni di precipitazione massima giornaliera previste nell'area di intervento (ISPRA, 2015)

Tali incrementi, se rapportati alle altezze di precipitazione di durata 24h calcolati con i parametri a ed n sopra calcolati producono un incremento percentuale illustrato nel seguito.

	Tempi di ritorno				
	25	**50**	**100**	**200**	**500**
Attuali	299.14	342.74	386.10	429.10	487.54
Incrementate	309.14	352.74	396.10	439.10	497.54
% incremento attuale	3.3	2.9	2.6	2.3	2.0

Tabella 4: Confronto altezza di precipitazioni attuali e future

Sulla base di tale incremento percentuale sono stati ricalcolati i **parametri a e n che saranno in seguito utilizzati per il calcolo dei valori di precipitazione di progetto** da considerarsi nella progettazione e nel dimensionamento delle opere idrauliche.

Parametri curve LSPP t<1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	104.49	0.484
50	119.01	0.484
100	133.44	0.484
200	147.81	0.484
500	166.74	0.484

Tabella 5: Parametri a ed n per durata precipitazione <1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.

Parametri curve LSPP t>1h		
Tr(Anni)	**a(mm/h)**	**n**
25	104.59	0.341
50	119.34	0.341
100	134.01	0.341
200	148.56	0.341
500	167.80	0.342

Tabella 6: Parametri a ed n per durata precipitazione >1h, incrementati per effetto dei cambiamenti climatici.

6.3 Portata al colmo della piena

L'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale all'interno del PAI Ambito 12 e 13 per i bacini ricadenti all'interno dell'area 6, si è avvalsa per il calcolo del colmo della piena oltre che del metodo razionale anche di un metodi di stima elaborato dall'Università di Genova relativo alla "Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena dei bacini liguri".

Tale metodo, denominato "CIMA", viene ritenuto maggiormente idoneo alla rappresentazione dei bacini di piccole dimensioni e pertanto i valori ottenuti dalla sua applicazione vengono riportati come valori di riferimento. Si riportano di seguito alcune informazioni inerenti all'applicazione del metodo ed i valori di portata indicati dall'Autorità di Bacino.

6.3.1 Metodo CIMA

Il metodo denominato all'interno del documento "CIMA" per i bacini con superficie inferiore a 2km^2 ha calcolato la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno adottando un contributo unitario, funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica, pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi un'area drenata pari a 2 km^2, secondo la seguente formula:

$$Q_T=K_T A U_{A=2}\ [m^3 s^{-1}]$$

nella quale:

A = superficie del bacino

$U_{A=2}$ = contributo unitario per area pari a 2 km^2 [$m^3 s^{-1} km^{-2}$], in funzione della longitudine del baricentro del bacino e del CN medio

K_T= fattore di frequenza, illustrato nella tabella precedente.

Lo studio ha inoltre proposto una suddivisione dei bacini regionali in quattro principali tipologie in funzione del diverso grado di urbanizzazione e dell'estensione delle aree impermeabili:

- CN = 92 per bacini di tipo A (elevato grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili superiore al 60%)
- CN = 87 per bacini di tipo B (medio grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili compresa tra 30% e 60%)
- CN = 75 per bacini di tipo C (basso grado d'urbanizzazione ed estensione delle aree impermeabili comprese tra 5% e 30%)
- CN = 67 per bacini di tipo D (estesa copertura arborea ed estensione delle aree impermeabili inferiore al 5%).

e fornisce per il valore del fattore di crescita la seguente tabella:

Tempo di ritorno [anni]	**K_T**
5	1.295
10	1.788
30	2.9
50	3.47
100	4.25
200	5.02

500	6.04

Tabella 7: Valori tabellati del fattore di frequenza per diversi tempi di ritorno

Il rio San Giuliano ricade all'interno del tipo A, ha una superficie di 1.1 km^2 e un coefficiente U_A=9.51 $m^3s^{-1}km^{-2}$, pertanto si ottengono per ogni tempo di ritorno le portate riportate in Tabella 8.

Tempo di ritorno [anni]	Q[m^3s^{-1}]
5	14
10	19
30	2.9
50	30
100	44
200	53
500	63

Tabella 8: Portate calcolate con metodo CIMA per diversi tempi di ritorno

Pertanto, le portate al colmo prese a riferimento per le modellazioni idrauliche sono le seguenti:

Tempo di ritorno [anni]	Q [m^3/s]
50	36
200	53
500	63

Tabella 9: Portate al colmo della piena per il rio San Giuliano per diversi tempi di ritorno

6.4 Idrogramma di piena - Modellazione idrologica tramite codice Hec-Hms

6.4.1 Fondamenti matematico-numerici del codice

In questa sezione viene illustrata in maniera sintetica la struttura del modello idrologico implementato nel codice Hec-HMS, tenendo presente che tale codice consente di impiegare, in linea generale, diversi modelli per rappresentare le componenti del processo di generazione del deflusso: il calcolo del volume di deflusso superficiale e sub-superficiale (metodo di suddivisione delle piogge), la trasformazione afflussi-deflussi sia diretti che di base, la propagazione della piena nei canali a pelo libero. Si rimanda al manuale del codice di calcolo per ulteriori approfondimenti.

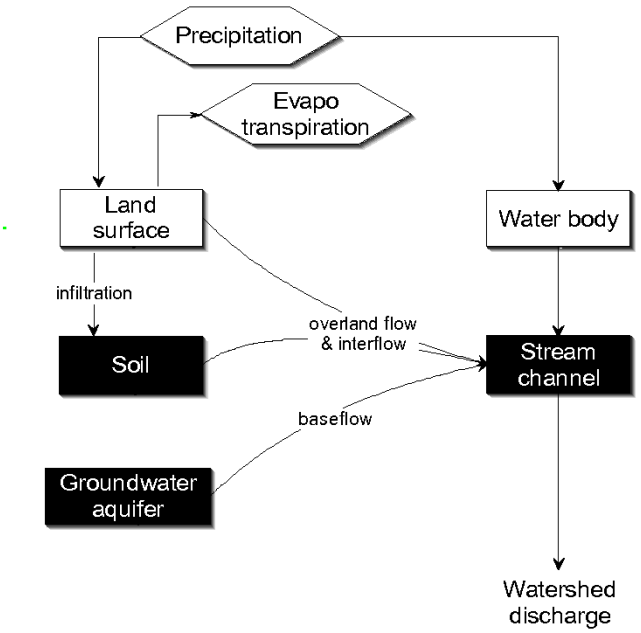


Figura 6.6: Rappresentazione schematica del funzionamento del codice Hec-HMS.

Nel presente caso si sono operate le seguenti scelte in ragione della disponibilità dei parametri di taratura e delle caratteristiche geo-morfologiche del bacino imbrifero esaminato:

Componente del processo di generazione del deflusso	Modello
Volume di deflusso superficiale sub-superficiale (*runoff volume*)	*SCS curve number*
Trasformazione afflussi-deflussi superficiali (*overland flow and interflow*)	*SCS UH*
Deflusso profondo (*baseflow*)	-
Propagazione piena	*Muskingum-Cunge standard section*

Tabella 6.10: Componente del processo di generazione del deflusso e relativo modello implementato.

6.4.1.1 Metodo di suddivisione delle piogge

Il codice di calcolo Hec-HMS consente l'utilizzo di diversi metodi di suddivisione delle piogge tra volume superficiale e profondo, quali SCS curve number, Green-Ampt, initial and constant-rate …

Nel presente caso si è adottato il metodo dell'S.C.S., il quale stima la precipitazione in eccesso in funzione della precipitazione cumulata, della copertura e uso del suolo, e dell'umidità pregressa usando la seguente relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \qquad (1)$$

dove P_e è l'eccesso di altezza di pioggia cumulata al tempo t [mm], P è l'altezza di pioggia cumulata al tempo t [mm], I_a è la perdita iniziale, S è il massimo potenziale contenuto d'acqua del

suolo [mm]. Il contenuto d'acqua del suolo è funzione del parametro CN, che varia da 0 a 100 ed esprime la propensione di un bacino a produrre deflussi in funzione delle diverse combinazioni suolo-soprassuolo presenti.

$$S = 25{,}4\left(\frac{1000}{CN} - 10\right) \qquad (2)$$

.

I valori del parametro CN dipendono dall'uso del suolo e dall'umidità del terreno.

6.4.1.2 Modello SCS dell'idrogramma istantaneo unitario

Alla base del modello vi è l'idrogramma istantaneo unitario mostrato in Figura 6.7, che risulta normalizzato lungo le ascisse e le ordinate rispettivamente con il tempo di pioggia T_k e la portata di picco dell'UH U_k.

Tra le due variabili sopra citate vi è un legame del tipo:

$$U_k = 2.08\frac{A}{T_k}$$

dove A è l'area del bacino imbrifero.

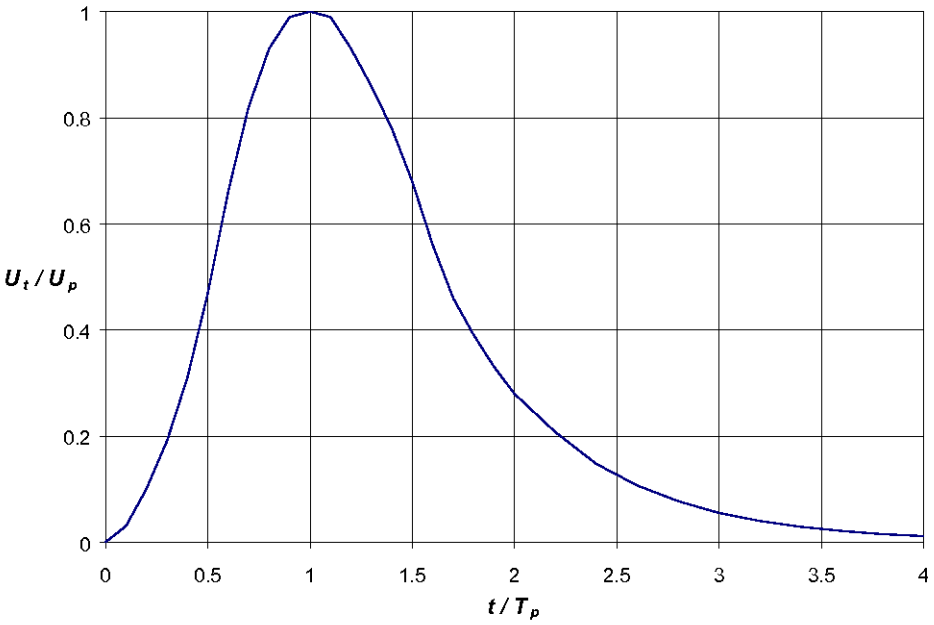


Figura 6.7: Idrogramma istantaneo unitario del modello SCS.

Il tempo di picco è legato alla durata dell'eccesso di precipitazione unitario secondo:

$$T_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag}$$

dove è il tempo di ritardo del bacino t_{lag} ossia la differenza tra il centro di massa dell'eccesso di precipitazione e il picco dell'UH, e Δt è la durata dell'eccesso di precipitazione unitario.

Il tempo di ritardo può essere valutato attraverso una procedura di calibrazione basata sulla conoscenza della portata presso la sezione di chiusura e delle altezze di pioggia all'interno del bacino, o, in alternativa, può essere legato al tempo di concentrazione o di corrivazione t_c:

$$t_{lag} = 0.6t_c$$

Il tempo di concentrazione è un parametro quasi fisicamente basato che può essere espresso come:

$$t_c = t_{channel} + t_{shallow} + t_{sheet}$$

dove i tre tempi $t_{channel}, t_{shallow}, t_{sheet}$ rappresentano il tempo trascorso, da una particella d'acqua rilasciata nel punto più lontano del bacino rispetto alla sezione di chiusura, rispettivamente all'interno della rete di canali, in rivoli caratterizzati da tiranti dello stesso ordine delle scabrezze, in uno stato di sottile liquido continuo e sottile non concentrato in canali più grandi di rivoli.

I tempi di residenza si valutano come:

$$t_{channel} = \frac{L}{V}$$

con L lunghezza del canale e V velocità della corrente espressa attraverso la relazione di moto uniforme di Manning;

$$t_{sheet} = \frac{0.007(NL)^{0.8}}{S^{0.4}(P_2)^{0.5}}$$

in cui N è il coefficiente di scabrezza di Manning, L è la lunghezza del percorso (di solito inferiore a 100 m), P_2 è l'altezza di pioggia in inches per una pioggia con TR=2 anni e durata 24 ore, S è la pendenza del fondo.

Il tempo di residenza del shallow flow viene valutato considerando una superficie di scorrimento non pavimentata:

$$t_{shallow} = \frac{L}{16.1345\sqrt{S}}$$

6.4.1.3 Modello di deflusso di base

Il deflusso di base viene rappresentato attraverso una legge di decadimento esponenziale del tipo:

$$Q_t = Q_0 k^t$$

dove Q_0 è la portata iniziale e k una costante di decadimento; tale contributo viene applicato sia all'inizio della simulazione dell'evento meteorico sia nel corso delle stesso quando il deflusso profondo raggiunge la rete dei canali (Figura 6.8). In quest'ultimo caso viene specificato un valore limite di portata al di sotto del quale il deflusso totale viene valutato attraverso la relazione di decadimento esponenziale e Q_0 è pari al valore limite specificato.

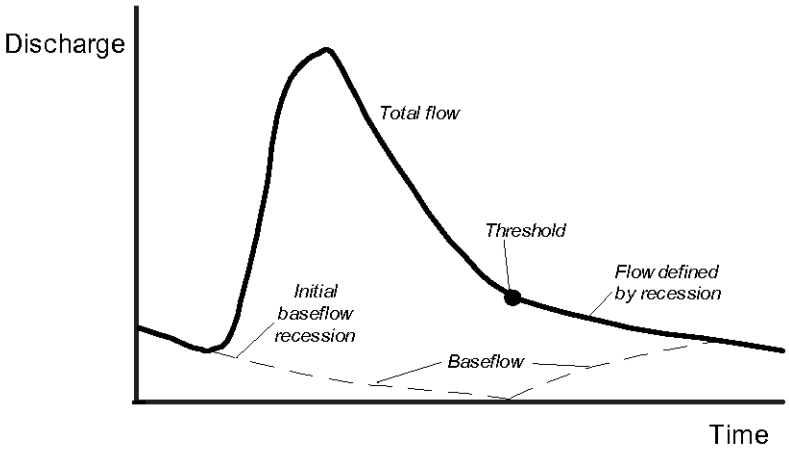


Figura 6.8: Illustrazione del modello di deflusso di base.

6.4.1.4 Modello di propagazione dell'onda di piena

Il modello propagatorio di Muskingum-Cunge non differisce molto da quello diffusivo classico, nel quale si trascurano i termini inerziali dell'equazione della quantità di moto; inoltre nell'equazione di continuità si considera l'apporto laterale di portata.

Le equazioni di governo della dinamica assumono pertanto la seguente forma:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial Q}{\partial x} + \dfrac{\partial A}{\partial t} = q_L \\ \dfrac{\partial y}{\partial x} - i_F + j = 0 \end{cases}$$

da cui si ottiene l'equazione parabolica:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c\frac{\partial Q}{\partial x} = D\frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + cq_L$$

dove c è la celerità dell'onda e D è il coefficiente di diffusione espressi come:

$$c = \frac{\partial Q}{\partial A}$$

$$D = \frac{Q}{2Bi_F}$$

B rappresenta la larghezza della sezione in corrispondenza della superficie libera.

6.4.2 Dati di input

Il modello idrologico implementato per il Rio San Giuliano è di tipo semi-distribuito: il bacino viene suddiviso in sottobacini a ciascuno dei quali viene assegnata una pioggia di progetto sotto forma di ietogramma triangolare con picco di piena posto a metà della durata di precipitazione.

Sono state assegnate per ogni tempo di ritorno, oltre alle piogge di progetto calcolate mediante i parametri a ed n relativi alla stazione meteorologica di Madonna delle Grazie, anche le precipitazioni calcolate mediante i parametri a ed n maggiorati del fattore incrementale dei cambiamenti climatici.

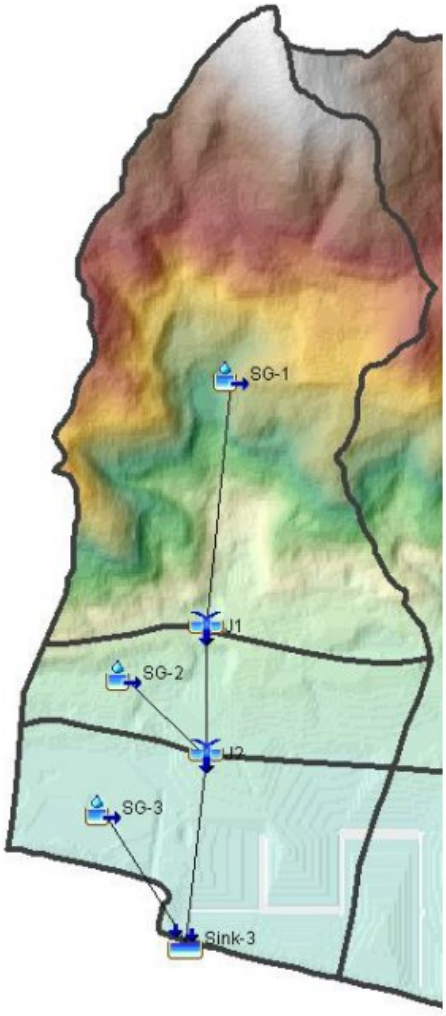


Figura 6.9: Schematizzazione bacino imbrifero San Giuliano.

Caratteristiche bacino	Sottobacino SG-1	Sottobacino SG-2	Sottobacino SG-3
Superficie [kmq]	*0.63*	*0.15*	*0.23*
CN [-]	*87.14*	*95.39*	*95.39*
Lunghezza asta [km]	*1.18*	*0.26*	*0.27*
Pendenza media del bacino [m/m]	*0.3*	*0.15*	*0.1*
Pendenza media dell'asta [m/m]	*0.2*	*0.05*	*0.01*
Quota max del bacino [m s.l.m.]	*341*	*43*	*12*
Quota media del bacino [m s.l.m.]	*140*	*16*	*4.5*
Quota della sezione di chiusura [m s.l.m.]	*15*	*5*	*2*

Tabella 6.11: Grandezze caratteristiche dei sottobacini imbriferi.

La pioggia netta viene calcolata adottando il modello di calcolo delle perdite sviluppato dal Soil Conservation Service SCS (oggi denominato "Natural Resources Conservation Service" – NRCS).

La trasformazione afflussi netti – deflussi si effettuata con:

- il modello dell'idrogramma unitario del Soil Conservation Service (SCS) per il sottobacino di monte SG1;

- il modello Kinematic per i sottobacini maggiormente urbanizzati SG2-SG3.

I deflussi in uscita dai singoli sottobacini vengono propagati verso valle con il metodo di Muskingum-Cunge, fino ad ottenere gli idrogrammi di piena nelle sezioni di interesse.

Il tempo di corrivazione è definito come il tempo impiegato dalla particella d'acqua idraulicamente più lontana a percorrere l'intero bacino fino alla sezione di chiusura.

In letteratura esistono diverse formulazioni che permettono di stimare il valore del tempo di corrivazione sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino idrografico. Tra le diverse formulazioni possibili, è stata utilizzata la formula di Tournon:

$$T_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{I}} \cdot \left[\frac{A}{L^2 \cdot \sqrt{\frac{S_W}{I}}}\right]^{0.72}$$

I tempi di corrivazione ottenuti per i diversi sottobacini sono pertanto:

Sottobacino SG-1	Sottobacino SG-2	Sottobacino SG-3
0.510	*0.550*	*1.067*

Tabella 6.12: Tempi di corrivazione dei sottobacini imbriferi.

Sono stati indagati i tempi di precipitazione di 0.5h, 0.75h, 1h e 1.5h, ottenendo che, per i diversi tempi di ritorno considerati, 50, 200 e 500 anni, il tempo di pioggia che massimizza i deflussi è pari ad un'ora.

Preme comunque evidenziare che, come visibile dalle immagini sotto riportate:

- lo smaltimento attuale delle acque del parco ferroviario avviene per infiltrazione nel terreno;

- una porzione significativa dei sottobacini SG2 e SG3 viene drenata rete di smaltimento delle acque bianche con punto di recapito al di fuori del bacino; pertanto tali superfici non concorrerebbero alla formazione dell'onda di piena. Nel tratto a monte di via Aurelia si segnala, ad esempio, l'assenza di fossi o rii affluenti mentre si rileva la presenza di alcuni scarichi di acque meteoriche di diametro massimo 400mm, per lo più a servizio di utenze private.

Ciononostante, lavorando a favore di sicurezza e considerando future possibile modifiche alle fognature bianche, si è preferito considerare nella modellazione il contributo dei due sottobacini nella loro completezza.

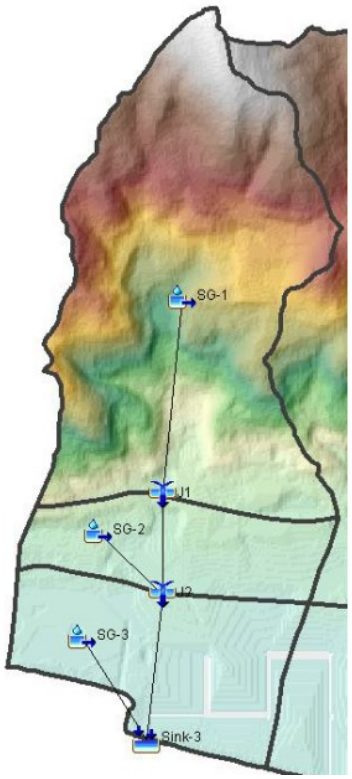




Tabella 6.13: Suddivisione in sottobacini imbriferi e rete di smaltimento acque bianche presente nel bacino.

6.4.3 Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n stazione Madonna delle Grazie

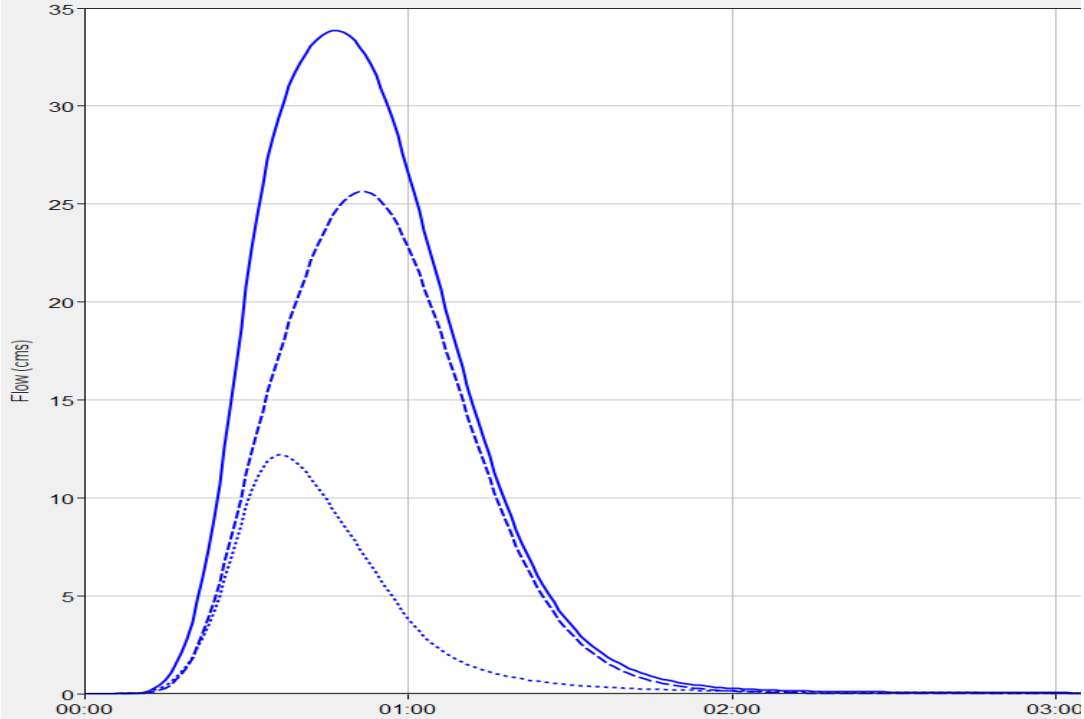


Figura 6.11 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=50 anni e Tp=1h

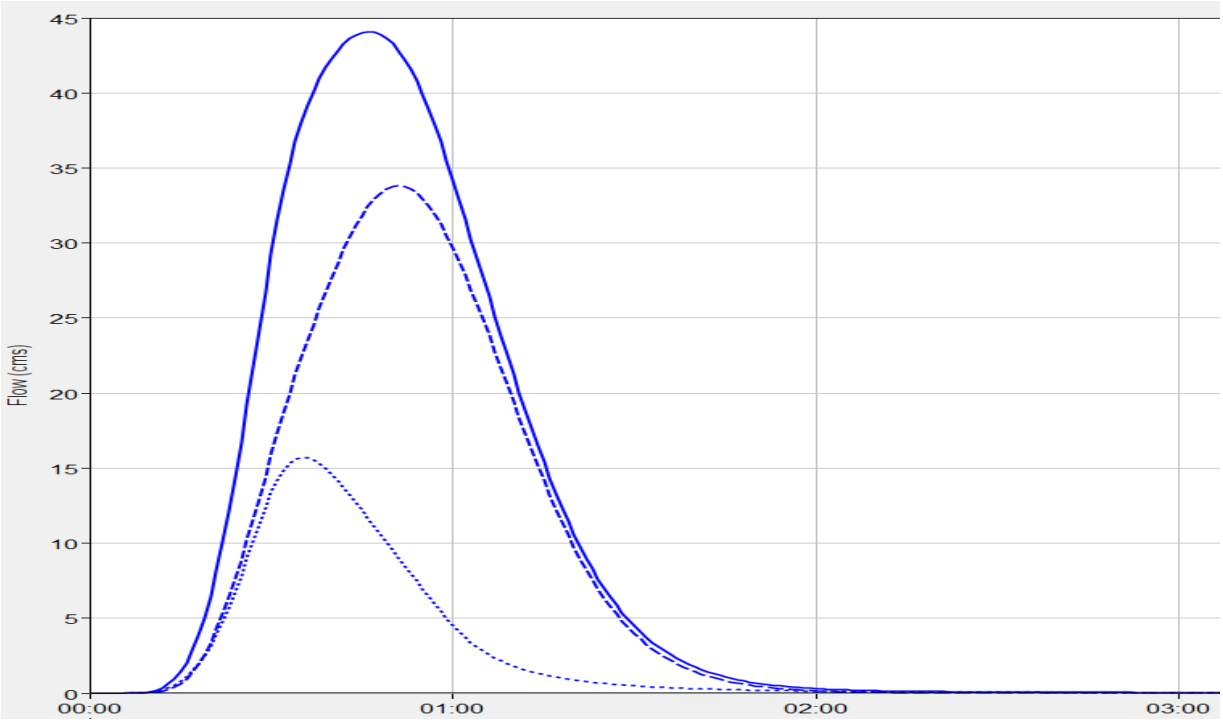


Figura 6.12 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h

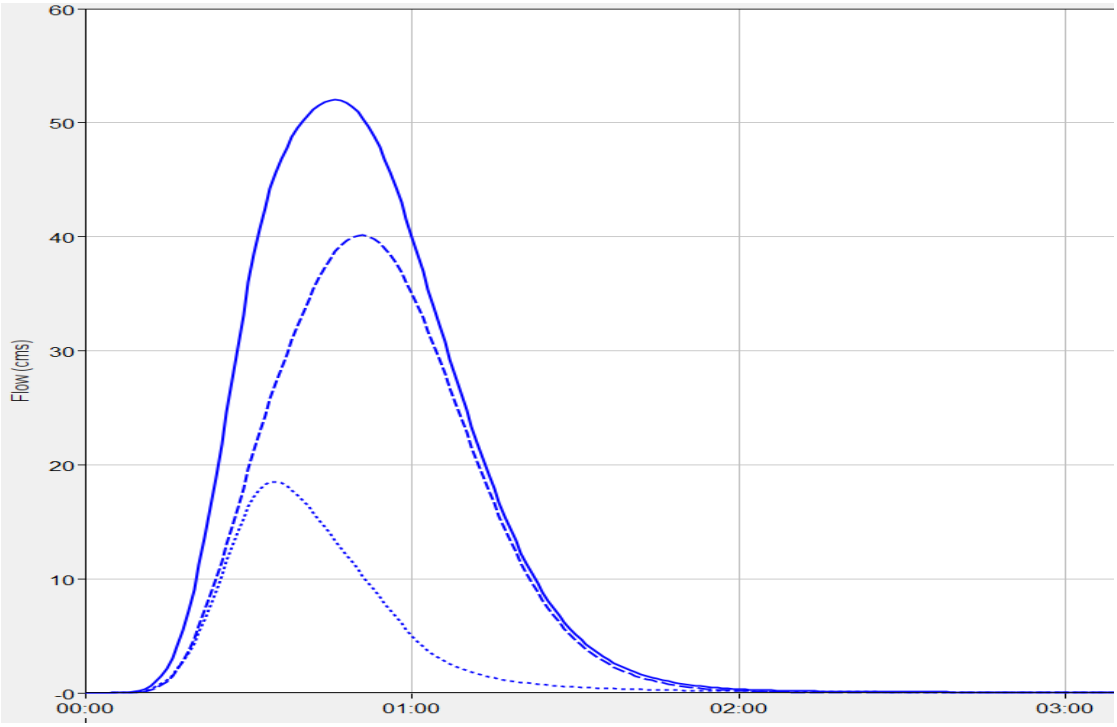


Figura 6.13 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h

Elemento contribuente	Area contribuente [km^2]	Picco di portata TR50 [m^3/s]	Picco di portata TR200 [m^3/s]	Picco di portata TR500 [m^3/s]
Sottobacino SG-1	*0.63*	*21.87*	*29.02*	*34.59*
Junction J1	*0.63*	*21.87*	*29.02*	*34.59*
Sottobacino SG-2	*0.15*	*8.21*	*10.68*	*12.57*
Junction J3	*0.78*	*25.65*	*33.80*	*40.13*
Sottobacino SG-3	*0.23*	*12.18*	*15.70*	*18.50*
Junction J3	*1.01*	*33.83*	*44.08*	*52.01*

Tabella 6.14: Portata di picco per ogni sottobacino contribuente e ai nodi.

6.4.4 *Idrogrammi HEC-HMS con parametri a ed n incrementati a causa dei cambiamenti climatici*

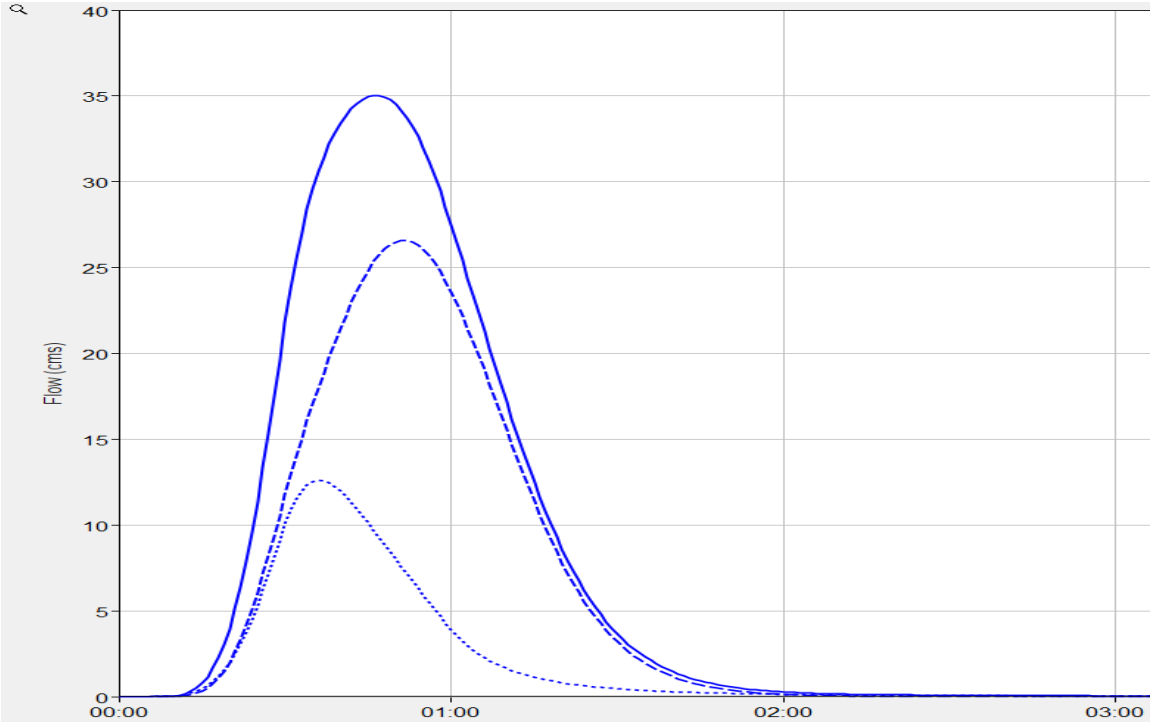


Figura 6.14 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=50 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.

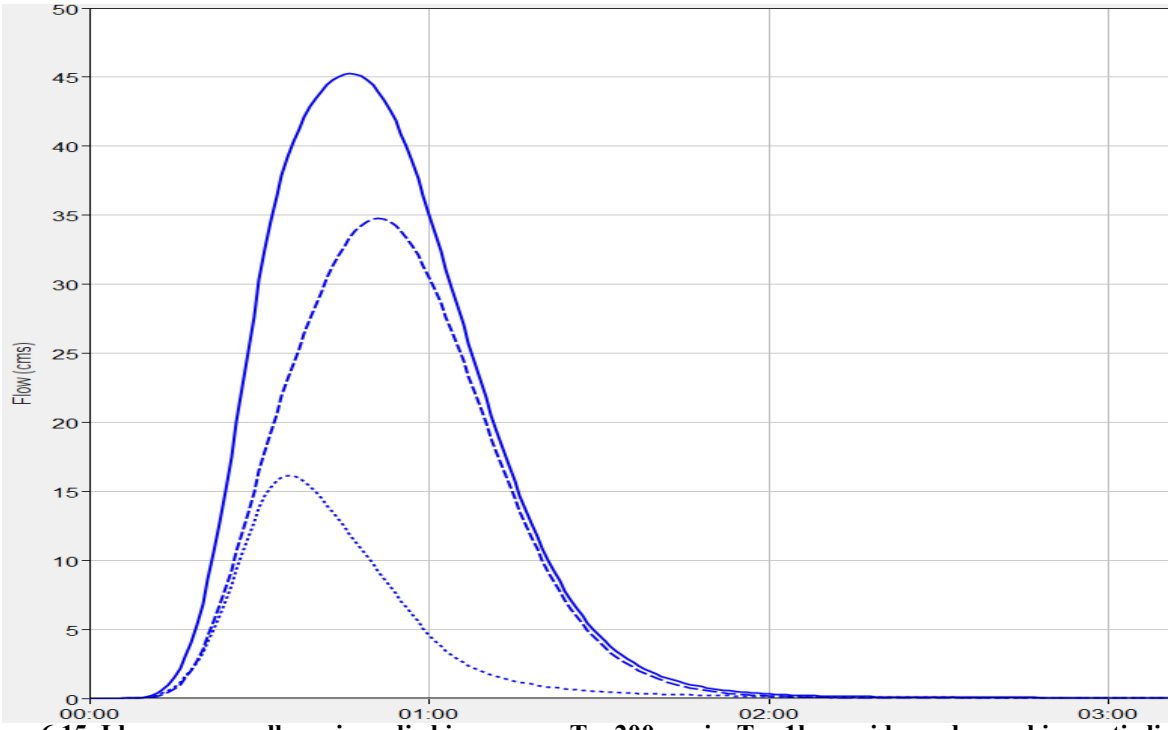


Figura 6.15 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.

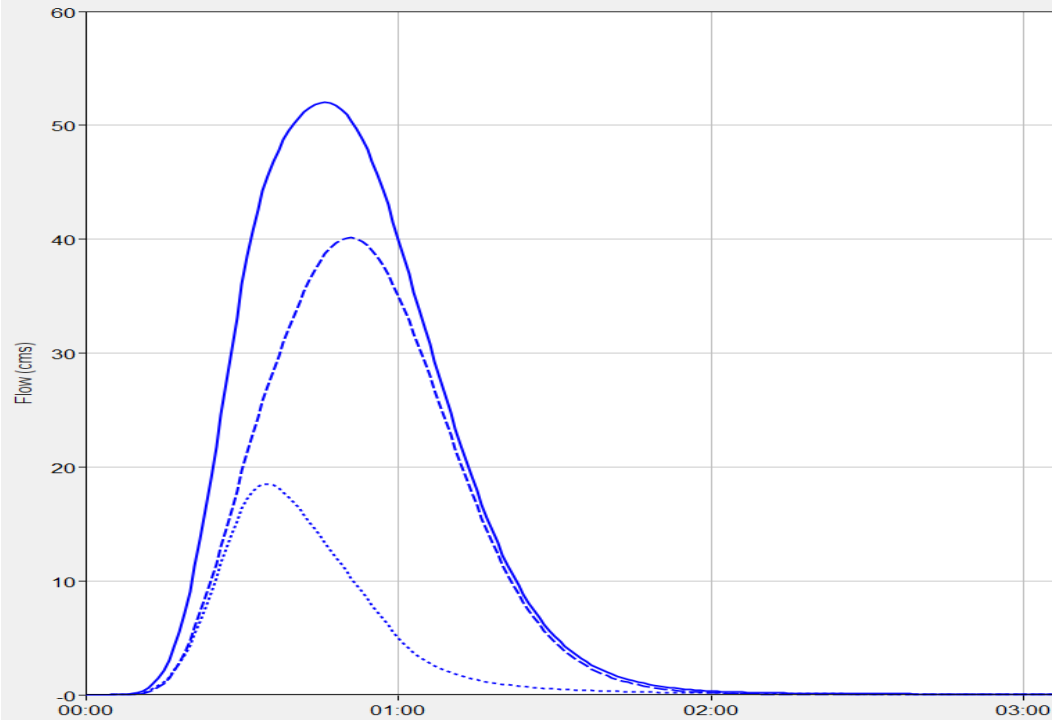


Figura 6.16 Idrogramma alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h considerando cambiamenti climatici.

Elemento contribuente	Area contribuente [km^2]	Picco di portata TR50 [m^3/s]	Picco di portata TR200 [m^3/s]	Picco di portata TR500 [m^3/s]
Sottobacino SG-1	*0.63*	*22.70*	*29.84*	*34.61*
Junction J1	*0.63*	*22.70*	*29.84*	*34.61*
Sottobacino SG-2	*0.15*	*8.50*	*10.96*	*12.58*
Junction J3	*0.78*	*26.59*	*34.74*	*40.14*
Sottobacino SG-3	*0.23*	*12.60*	*16.10*	*18.50*
Junction J3	*1.01*	*35.03*	*45.27*	*52.01*

Tabella 6.15: Portata di picco per ogni sottobacino contribuente e ai nodi.

Come si può osservare dai grafici sopra riportati e dai valori tabulati, l'effetto dei cambiamenti climatici porta a lievi incrementi delle portate di progetto del rio.

6.4.5 Idrogrammi di progetto

Gli idrogrammi di piena ottenuti dall'implentazione di metodi semoi-distribuiti presentano valori della portate al colmo inferiori ai picchi di piena indicati dall'Autorità di Bacino.

Al fine di eseguire le verifiche idrauliche a moto vario mantenendo i valori di picchi del Pino di Bacino, si è scelto, a favore di sicurezza, di scalare gli idrogrammi del modello idrologico.

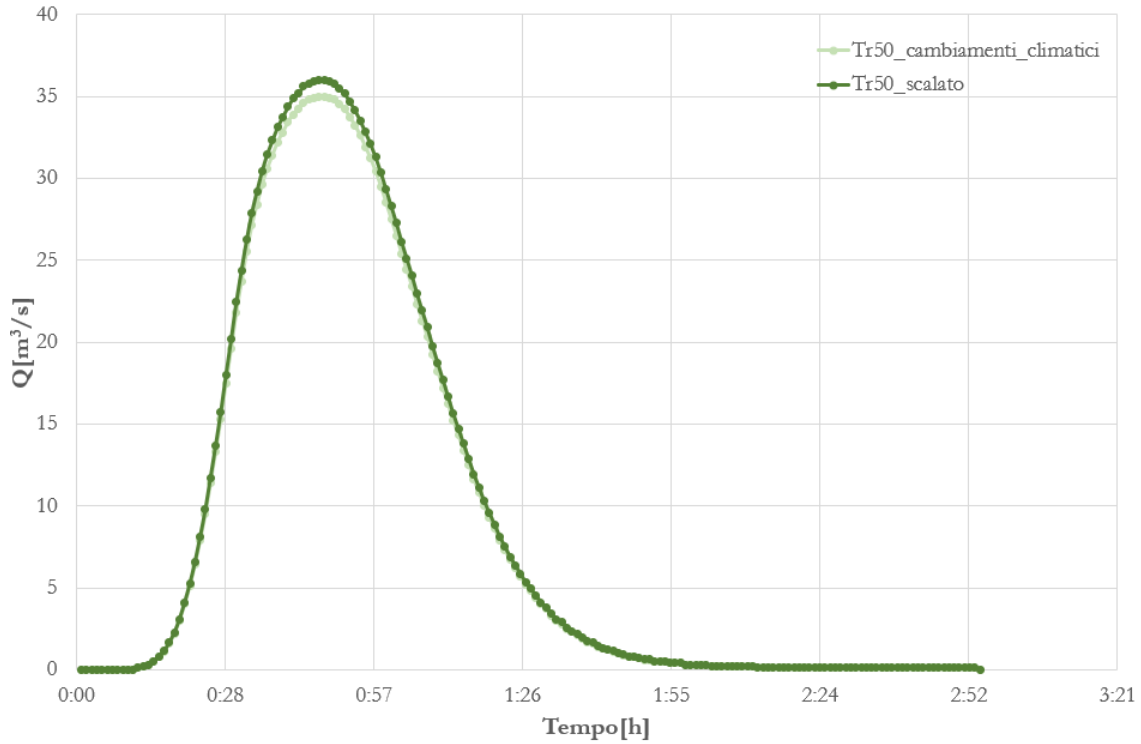


Figura 6.17 Confronto tra idrogramma ottenuto da analisi idrologica alla sezione di chiusura per Tr=50 anni e Tp=1h

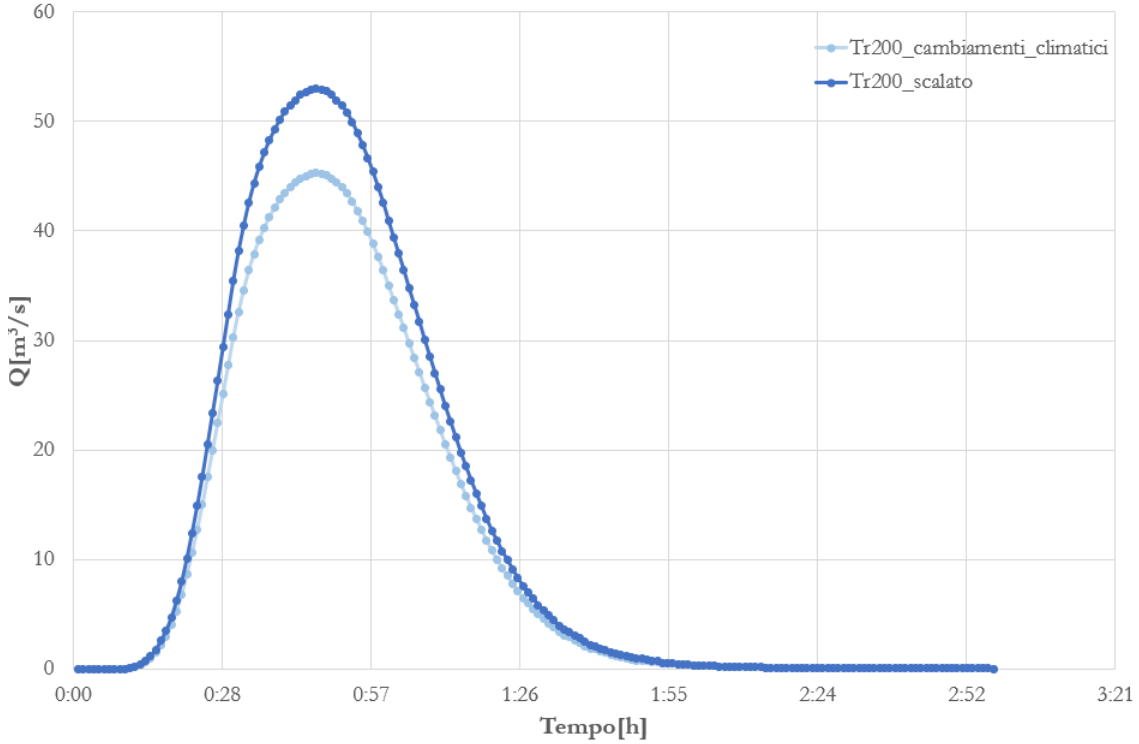


Figura 6.18 Confronto tra idrogramma ottenuto da analisi idrologica alla sezione di chiusura per Tr=200 anni e Tp=1h

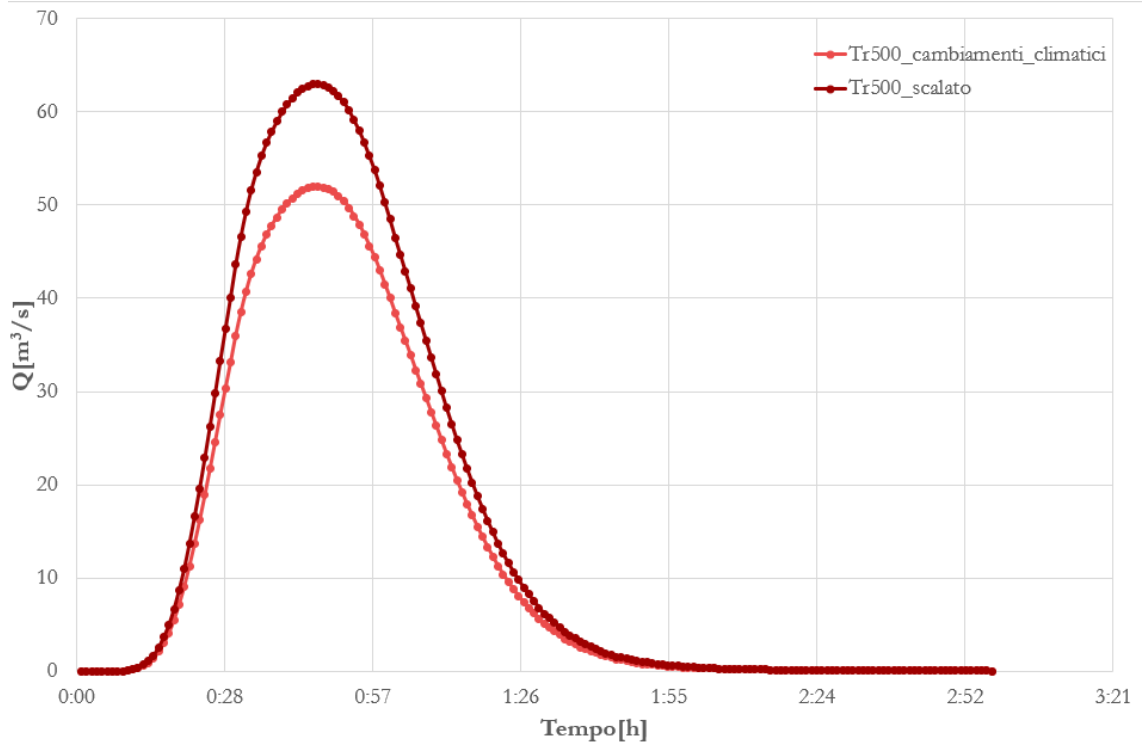


Figura 6.19 Confronto tra idrogramma ottenuto da analisi idrologica alla sezione di chiusura per Tr=500 anni e Tp=1h

7. MODELLAZIONE IDRAULICA

Al fine di verificare il comportamento idraulico del corso d'acqua di interesse si è sviluppata l'analisi idraulica a moto vario, schematizzando il corso d'acqua con un modello 1D e le aree allagabili con un modello 2D.

7.1 Fondamenti matematico- numerici del codice Hec-RAS

La modellazione idraulica è stata eseguita implementando il codice di calcolo Hec-Ras dell'U.S. Army Corps of Engineers).

Questo modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo mono/bi dimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena in corsi d'acqua a fondo fisso o mobile. L'implementazione del modello richiede la conoscenza della geometria dell'alveo, nonché delle necessarie condizioni iniziali e al contorno. Tra le altre cose, il modello offre la possibilità di tener conto di strutture idrauliche (sfioratori laterali, briglie, casse di espansione…) e di elementi-strutture che possono interferire con la propagazione della piena (ponti, sottopassi, tombinature…).

Nel presente caso le simulazioni sono state condotte a fondo fisso e morto vario, schematizzando il corso d'acqua con un modello 1D e le aree allagabili con un modello 2D.

er le analisi in condizioni di moto vario occorre ricordare che le leggi fisiche che governano il campo di moto dell'acqua sono il principio di conservazione della massa e della quantità di moto.

sviluppando le analisi a moto vario e fondo fisso

7.1.1 Modello monodimensionale

Il campo di moto del corso d'acqua viene rappresentato attraverso un modello monodimensionale, dove le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant), rispetto ad un volume di controllo infinitesimale (Figura 7.1) assumono la seguente forma:

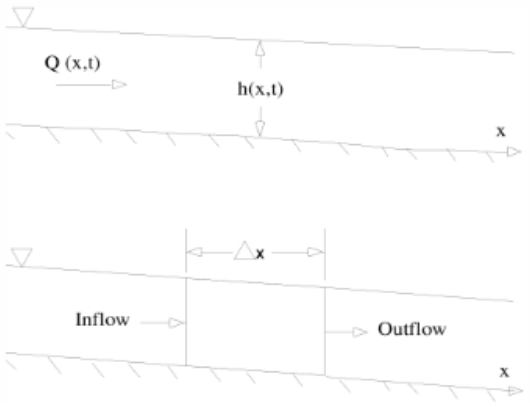


Figura 7.1 Volume di controllo.

Eq. continutà

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial(\Phi Q)}{\partial x_c}+\frac{\partial\left[(1-\Phi)Q\right]}{\partial x_f}=0$$

Eq. quantità di moto

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial\left(\frac{\Phi^2Q^2}{A_c}\right)}{\partial x_c}+\frac{\partial\left(\frac{(1-\Phi^2)Q^2}{A_f}\right)}{\partial x_f}+gA_c\left[\frac{\partial Z}{\partial x_c}+S_{fc}\right]+gA_f\left[\frac{\partial z}{\partial x_f}+S_{ff}\right]=0$$

dove h è il tirante, z_0 la quota del fondo e S_f è la pendenza dell'energia tra le due sezioni del volume di controllo. I pedici c ed f nelle equazioni si riferiscono rispettivamente al main channel (alveo centrale) ed alle floodplain (aree golenali).

In Hec-ras, per semplificare il problema dell'interfaccia area allagabile/corso d'acqua, si assume una superficie libera orizzontale tra due sezioni perpendicolari alla direzione del corso d'acqua così da poter considerare la portata in transito nel canale come:

$$Q_c=\phi Q$$

dove $\Phi=K_c/K_c+K_f$ con K_c; K_f fattore di trasporto relativo rispettivamente a canale e area allagabile.

La schematizzazione numerica delle equazioni presenta un diverso approccio a seconda delle caratteristiche del regime idraulico:

- in regime subcritico è basata su un metodo alle differenze finite di tipo implicito a quattro punti, noto come box scheme. Il modello Hec-Ras risolve N equazioni in N incognite, dove N=2*numero sezioni del corso d'acqua, a meno delle sezioni a cui sono state assegnate le condizioni al contorno. Il sistema di equazioni viene risolto con metodo iterativo, mediante l'algortimo skyline.
- nel caso di corrente mista o veloce, la tecnica utilizzata è la Local Partial Inertia (LPI), grazie a cui si passa dalla soluzione delle equazioni complete del moto alla soluzione del modello parabolico delle equazioni del moto vario, solo laddove il numero di Froude supera un valore soglia (Fr=1).

7.1.2 Modello bidimensionale

Per quanto concerne le aree allagabili si applica un modello bidimensionale dove le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto, descritte come di seguito esposto, vengono risolte con uno schema ai volumi finiti. Le equazioni della quantità di moto sono ricavate a partire dalle equazioni di Navier-Stokes nell'ipotesi di trascurabilità della componente verticale della velocità e distribuzione idrostatica delle pressioni.

eq. continuità

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial(h\cdot u)}{\partial x}+\frac{\partial(h\cdot v)}{\partial y}+q=0$$

eq. QdM in x

$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\cdot\frac{\partial u}{\partial x}+v\cdot\frac{\partial v}{\partial y}=-g\cdot\frac{\partial H}{\partial x}+v_t\cdot\left(\frac{\partial^2u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2u}{\partial y^2}\right)-c_f\cdot u+f\cdot v$$

eq. QdM in y $$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} = -g\frac{\partial H}{\partial y} + v_t\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x} + \frac{\partial^2 v}{\partial y}\right) - c_f v - fu$$

in cui t è il tempo, u e v sono rispettivamente le componenti di velocità lungo le direzioni x e y e q è la portata in ingresso ed in uscita dovuta a immissioni o uscite di acqua, , g è l'accelerazione di gravità, n t è il coefficiente di viscosità turbolenta, cf è il coefficiente di attrito al fondo, ed f è il coefficiente di Coriolis.

La scabrezza al fondo viene definita imponendo la condizione di moto localmente uniforme mediante l'equazione di Gauckler-Strickler:

$$c_f = \frac{n^2 \cdot g \mid V \mid}{R^{4/3}}$$

Per la modellazione del campo di moto, HEC-RAS utilizza l'approccio batimetrico sub-grid sviluppato da Casulli. Con tale approccio si riesce a sfruttare informazioni topografiche ad alta risoluzione (ad esempio dati LiDAR con passo della griglia pari ad 1 m) pur utilizzando celle di calcolo a dimensione caratteristica maggiore rispetto alla risoluzione dei dati in ingresso. Per ogni singola cella di calcolo, infatti, in fase di preprocessing viene ricavata la legge di variazione con la quota del pelo libero delle grandezze idrauliche caratteristiche, basandosi sui dati topografici ad alta risoluzione relativi alla cella stessa. Vengono così determinate: curva di invaso della cella, area, contorno bagnato e raggio idraulico su ogni bordo della cella. Tale schema di risoluzione consente di sfruttare al massimo il dettaglio dei dati in ingresso.

7.2 Dati di input

I dati necessarie all'implementazione del modello numerico sono:

- la geometria dell'alveo, descritta attraverso le sezioni ricavate dal rilievo commissionato nell'ambito del presente lavoro o definite nei progetti di sistemazione idraulica del corso d'acqua;
- l'estensione e altimetria dell'area allagabile, definite sulla base dei dati LIDAR;
- l'idrogramma di piena;
- parametri idraulici (resistenza al moto);
- le condizioni al contorno di monte, di valle e nelle eventuali sezioni intermedie di controllo;
- le connessioni tra aree allagabili e corso d'acqua

7.2.1 Geometria San Giuliano – Stato attuale

La geometria del corso d'acqua è stata definita attraverso il rilievo topografico, a monte dell'Aurelia, SS1, di 48 sezioni per una lunghezza complessiva del tratto analizzato pari a circa 440m.

Il rilievo eseguito nel mese di aprile 2023, nel tratto da via Ventimiglia fino all'Aurelia SS1, considera anche le opere realizzate nell'ambito del progetto di "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce – 1° lotto" (GNO2890).

La geometria a valle della viabilità Aurelia è stata definita attraverso i rilievi topografici disponibili per l'area di studio. Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Length Chnl	Min Ch El [m s.l.m.]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]
437.89	439.74	9	13.07	18.03	17.02
429.05	430.74	8.9	11.67	16.75	17.02
420.2	421.94	9.5	11.3	15.46	17.14
411.36	412.44	10.6	10.98	15.14	14.81
402.95	401.84	4.1	10.63	15.28	14.07
394.54	397.74	0.6	10.38	15.46	13.97
394	397.14	9.6	10.38	15.46	13.97
386.13	387.54	10.3	9.97	14.03	14
377.27	377.24	12.3	9.55	13.67	13.69
368.41	364.94	3.8	9.18	14.03	13.72
359.54	361.14	0.5	8.63	13.99	13.89
359	360.64	7.8	8.63	13.99	13.89
352	352.84	1	8.62	13.08	13.62
350.68	351.84	16.2	8.49	12.92	12.68

334.51	335.64	13.1	8.17	12.23	12.48
321.33	322.54	20	7.85	11.5	12.39
313.25	302.54	1.1	7.35	11.5	11.2
305.16	301.44	3	7.33	11.5	11.64
297.08	298.44	16	6.97	11.5	11.63
280.86	282.44	12.6	6.63	11.13	11.25
268.46	269.84	7.8	5.92	10.72	10.94
261.16	262.04	6.4	5.22	10.28	10.89
253.85	255.64	1.8	5.2	8.7	8.6
252	253.84	12.8	4.72	8.1	8.6
239.14	241.04	5.5	3.38	7.43	8.6
233.77	235.54	5.6	2.61	7.45	7.45
228.4	229.94	5.9	2.56	5.05	5.05
222.65	224.04	3.1	2.55	4.78	4.78
219.65	220.94	8.6	2.54	3.98	3.98
210.9	212.34	1.3	1.99	3.96	4
209.4	211.04	1.2	1.99	6.11	6.11
208.5	209.84	0.6	1.99	5.5	5.5
207.98	209.24	17.6	1.85	3.13	3.09
188.69	191.64	1.7	1.9	3.1	3.1
188.19	189.94	14.5	1.9	2.82	2.83
162.5	175.44	3.2	1.85	2.88	2.86
161.5	172.24	0.5	1.82	3.9	3.9
148	160.14	3.3	1.75	3.9	3.9
145	156.84	11.8	1.72	4.41	4.46
130	145.04	17.9	1.66	3.92	4.74
115	127.01	7	1.65	4.69	4.65
104.8	120.01	22.5	1.6	4.92	4.09
82.62	97.85	22.2	1.58	4.8	5.6
60	75.63	20.63	1.55	4.8	5.47
44.007*	55	20.63	1.5	4.72	5.16
28.013*	34.37	20.63	1.45	4.64	4.84
12.02	13.74	13.74	1.4	4.56	4.53
-17.51			1.29	4.72	4.57

Tabella 16: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica

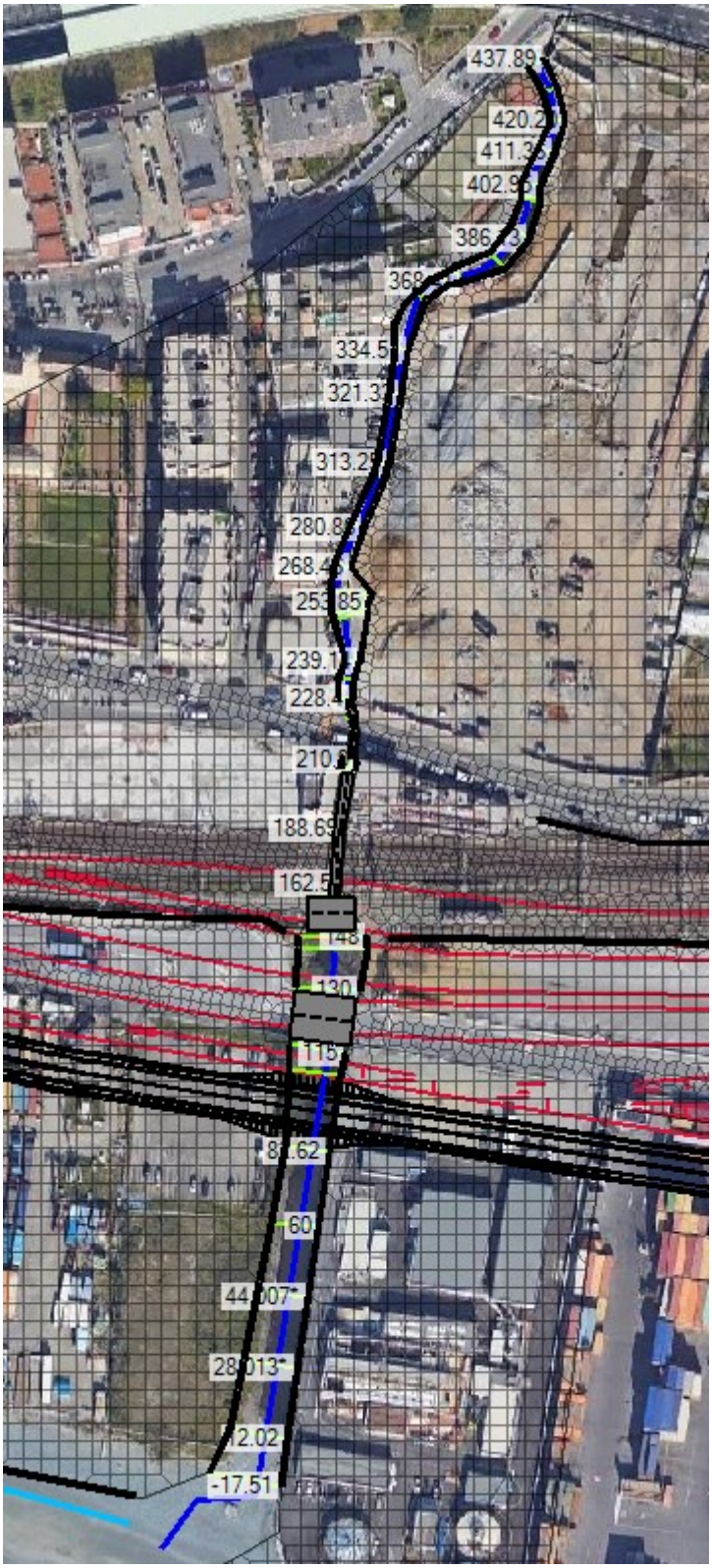


Figura 7.2 – Planimetria del corso d'acqua e localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico

7.2.2 Geometria San Giuliano– Stato di progetto

7.2.2.1 Scenario 1

La geometria dello stato di progetto è stata sviluppata a partire da quella dello stato attuale, alla quale sono state applicate le seguenti modifiche, che ripercorrono le soluzioni progettuali già individuate nel PFTE sviluppato da Italferr:

- Sistemazioni idrauliche a monte dell'Aurelia:
  - Allargamento e riprofilatura della sezione idraulica per raccordo con successivi interventi di progetto e eliminazione della tombinatura per un tratto di 11 m localizzato tra le sezioni 15 e 11 del modello idraulico;
- Sistemazioni al di sotto della SS1:
  - Realizzazione di un manufatto idraulico scatolare a unica canna 8,5x2,28 m;
- Sistemazioni a valle dell'Aurelia:
  - Scoperchiatura del tratto di corso d'acqua adiacente il fabbricato cd. "Eurocolors", con realizzazione di canale ad U 8.5x2.5m e conseguente demolizione del fabbricato esistente sovrastante;
  - Realizzazione di un manufatto idraulico scatolare a unica canna 8,5x2,28 m sottopassante la ferrovia e la viabilità in progetto in area portuale;
  - Sistemazione idraulica del tratto terminale a cielo aperto con sezione ad U con dimensioni singolo canale 8.5x2,5m con pendenza del fondo pari all'1%;
  - Riprofilatura con pendenza all'incirca pari all'1% del tratto di lunghezza circa 75 m in prossimità del recapito a mare, con sezione trapezoidale a cielo aperto, per un ottimale raccordo dell'alveo di progetto con lo sbocco. In tale tratto si prevede di abbassare il fondo del corso d'acqua di un minimo di 0.68 m fino ad un massimo di 1.30m

Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Length Chnl	Min Ch El [m s.l.m.]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]
32	453.5	9.00	13.07	18.03	17.02
31	444.5	8.90	11.67	16.75	17.02
30	435.6	9.50	11.30	15.46	17.14
29	426.1	10.60	10.98	15.14	14.81
28	415.5	4.70	10.63	15.28	14.07
27	410.8	9.60	10.38	15.46	13.97
26	401.2	10.30	9.97	14.03	14.00
25	390.9	12.30	9.55	13.67	13.69
24	378.6	3.80	9.18	14.03	13.72
23.2	374.8	8.60	8.63	13.99	13.89

23.1	366.2	1.27	8.62	13.08	13.62
23	364.93	15.61	8.49	12.92	12.68
22	349.32	13.17	8.17	12.23	12.48
21	336.15	10.00	7.85	11.50	12.39
20.4	326.15	5.00	7.64	11.50	10.82
20.3	321.15	4.73	7.43	11.50	10.86
20.25	316.42	0.60	7.38	11.50	10.55
20.2	315.82	1.09	7.35	11.50	11.20
20.1	314.73	3.41	7.33	11.50	11.64
20	311.32	1.54	6.97	11.50	11.63
19.2	309.78	6.00	7.00	11.57	11.60
19.1	303.78	8.11	6.91	11.24	11.16
19	295.67	12.78	6.63	11.13	11.25
18	282.89	7.16	5.92	10.72	10.94
17.1	275.73	6.51	5.22	10.28	10.89
17	269.22	1.23	5.11	8.00	7.80
16	267.99	1.83	4.72	7.45	7.87
15.857*	266.16	1.83	4.51	7.41	7.81
15.714*	264.33	1.83	4.30	7.37	7.75
15.571*	262.5	1.83	4.07	7.33	7.69
15.429*	260.66	1.83	3.83	7.28	7.63
15.286*	258.83	1.83	3.60	7.24	7.57
15.143*	257	1.83	3.36	7.20	7.51
15	255.16	0.10	3.12	7.16	7.45
14.9	255.06	0.87	3.12	5.62	5.62
14.750*	254.2	0.87	3.03	5.53	5.53
14.600*	253.33	0.87	2.95	5.45	5.45
14.450*	252.46	0.87	2.87	5.37	5.37
14.300*	251.6	0.87	2.78	5.28	5.28
14.150*	250.73	0.87	2.70	5.20	5.20
14	249.86	2.81	2.61	5.11	5.11
13	247.05	0.49	2.52	5.02	5.02
12	246.56	2.42	2.51	5.01	5.01
11	244.14	22.2	2.43	4.71	4.71
10	221.94	0.01	2.23	4.51	4.51
9.9	221.93	18.09	2.23	4.73	4.73
9	203.84	0.01	2.07	4.57	4.57
8.9	203.83	9.01	2.07	4.35	4.35
8.80999*	194.82	9.01	1.99	4.27	4.27
8.71999*	185.82	9.01	1.91	4.19	4.19
8.63*	176.81	9.01	1.83	4.11	4.11
8.54*	167.8	9.01	1.75	4.03	4.03

8.45*	158.79	9.01	1.67	3.95	3.95
8.36*	149.78	9.01	1.58	3.86	3.86
8.27*	140.78	9.01	1.5	3.78	3.78
8.18*	131.77	9.01	1.42	3.7	3.7
8.09*	122.76	9.01	1.34	3.62	3.62
8	113.75	2.14	1.26	3.54	3.54
7	111.61	10.02	1.23	3.73	3.73
6	101.59	0.01	1.07	3.57	3.57
5.9	101.58	12.6	1.07	3.57	3.57
5	88.98	0.01	0.87	3.37	3.37
4.9	88.97	8.78	0.87	4.9	4.74
4.77142*	80.19	8.78	0.77	4.9	4.73
4.64285*	71.41	8.78	0.67	4.9	4.71
4.51428*	62.63	8.78	0.57	4.9	4.7
4.38571*	53.86	8.78	0.47	4.9	4.69
4.25714*	45.08	8.78	0.37	4.9	4.68
4.12857*	36.3	8.78	0.27	4.9	4.66
4	27.52	4.59	0.16	4.9	4.65
3.75	22.93	4.59	0.11	4.9	4.78
3.25	18.35	4.59	0.06	4.9	4.91
3	13.76	4.59	0.01	4.9	5.04
2.75	9.17	4.59	-0.05	4.9	3.69
2.25	4.59	4.59	-0.1	4.9	2.35
2	0	0	-0.15	4.9	1

Tabella 17: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica

L'intervento prevede anche la realizzazione di una passerella pedonale di collegamento tra il parcheggio e il piazzale della stazione Voltri. Il manufatto metallico a campata unica verrà fissato alla testa dei muri arginali (6.12 m s.l.m.), ossia ad una altezza tale da non avere interazioni con il deflusso idrico; a tale proposito si rimanda al par. 8.1.1 per ulteriori dettagli.

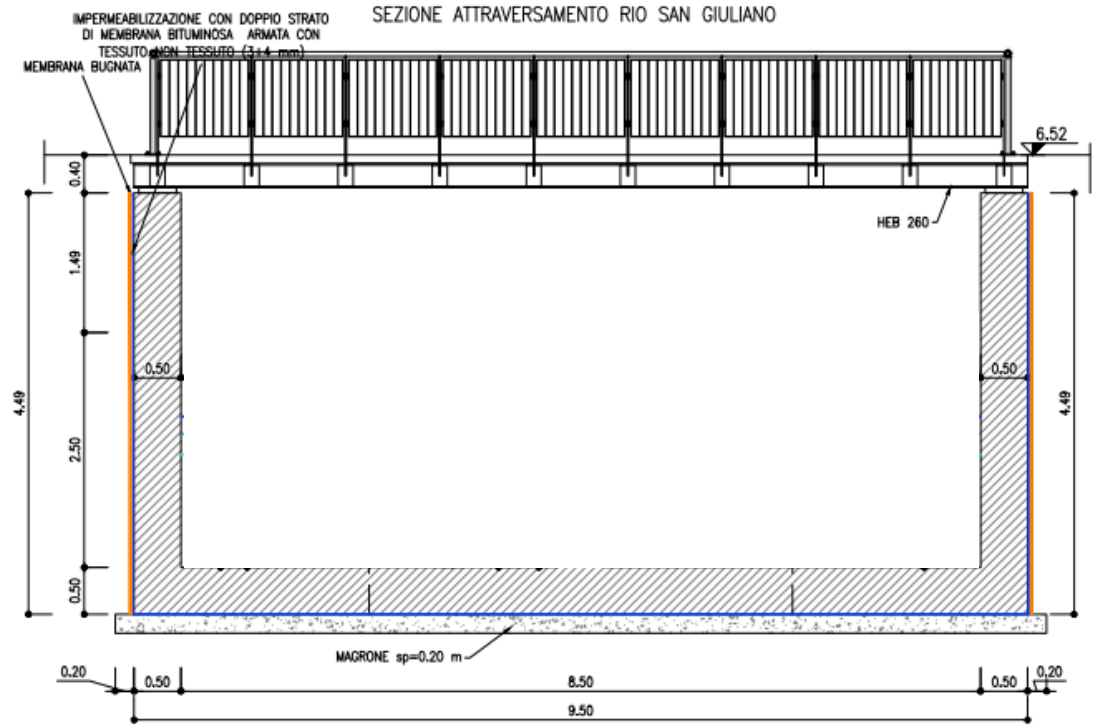


Figura 7.3 – Sezione presso la passerella pedonale.

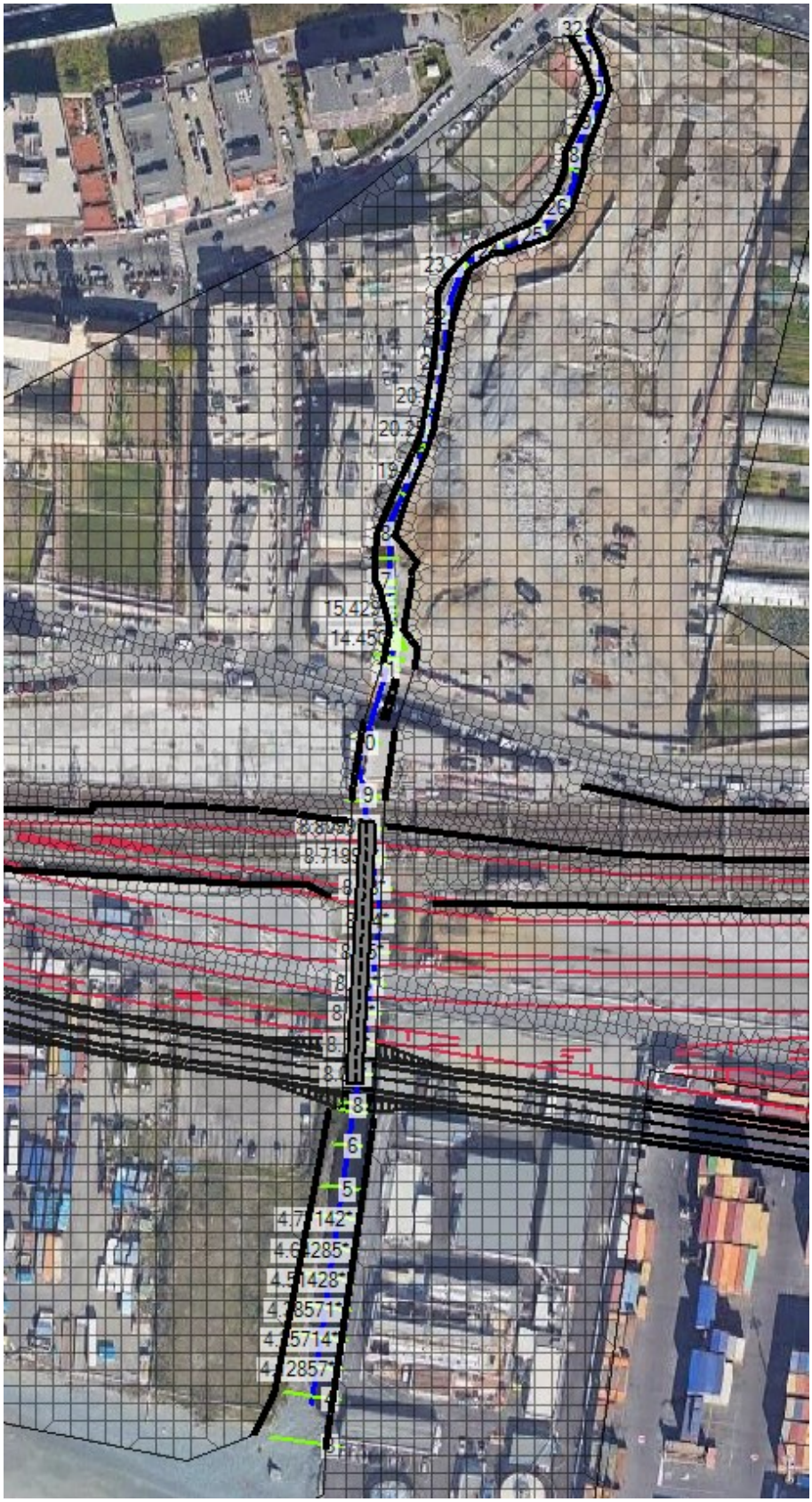


Figura 7.4 – Planimetria del corso d'acqua e localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico.

7.2.2.2 Scenario 2

La geometria dello stato di progetto è la medesima dello scenario precedente, ma vengono considerati anche gli interventi del progetto preliminare di "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce" non ancora progettati ed eseguiti.

In particolare, rispetto allo scenario di progetto 1, le modifiche riguardano l'allargamento di 1-2.4 m con riprofilatura delle sezioni idrauliche dalla 24 alla 18. Di seguito si riportano le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Length Chnl	Min Ch El [m s.l.m.]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]
32	453.5	9.00	13.07	18.03	17.02
31	444.5	8.90	11.67	16.75	17.02
30	435.6	9.50	11.30	15.46	17.14
29	426.1	10.60	10.98	15.14	14.81
28	415.5	4.70	10.63	15.28	14.07
27	410.8	9.60	10.38	15.46	13.97
26	401.2	10.30	9.97	14.03	14.00
25	390.9	12.30	9.55	13.67	13.69
24	378.6	3.80	9.20	14.03	14.03
23.2	374.8	8.60	8.59	14.02	14.02
23.1	366.2	1.27	8.57	14.02	14.02
23	364.93	15.61	8.57	13.30	13.30
22	349.32	13.17	8.09	12.54	12.54
21	336.15	10.00	7.91	11.85	11.85
20.4	326.15	5.00	7.75	11.80	11.80
20.3	321.15	4.73	7.60	11.60	11.60
20.25	316.42	0.60	7.50	11.60	10.51
20.2	315.82	1.09	7.34	11.77	11.77
20.1	314.73	3.41	7.34	11.77	11.77
20	311.32	1.54	7.33	11.67	11.67
19.2	309.78	6.00	7.21	11.57	11.60
19.1	303.78	8.11	6.93	11.24	11.16
19	295.67	12.78	6.86	11.35	11.35
18	282.89	7.16	5.87	11.10	11.10
17.1	275.73	6.51	5.22	10.28	10.89
17	269.22	1.23	5.11	8.00	7.80
16	267.99	1.83	4.72	7.45	7.87
15.857*	266.16	1.83	4.51	7.41	7.81
15.714*	264.33	1.83	4.30	7.37	7.75
15.571*	262.5	1.83	4.07	7.33	7.69

15.429*	260.66	1.83	3.83	7.28	7.63
15.286*	258.83	1.83	3.60	7.24	7.57
15.143*	257	1.83	3.36	7.20	7.51
15	255.16	0.10	3.12	7.16	7.45
14.9	255.06	0.87	3.12	5.62	5.62
14.750*	254.2	0.87	3.03	5.53	5.53
14.600*	253.33	0.87	2.95	5.45	5.45
14.450*	252.46	0.87	2.87	5.37	5.37
14.300*	251.6	0.87	2.78	5.28	5.28
14.150*	250.73	0.87	2.70	5.20	5.20
14	249.86	2.81	2.61	5.11	5.11
13	247.05	0.49	2.52	5.02	5.02
12	246.56	2.42	2.51	5.01	5.01
11	244.14	22.2	2.43	4.71	4.71
10	221.94	0.01	2.23	4.51	4.51
9.9	221.93	18.09	2.23	4.73	4.73
9	203.84	0.01	2.07	4.57	4.57
8.9	203.83	9.01	2.07	4.35	4.35
8.80999*	194.82	9.01	1.99	4.27	4.27
8.71999*	185.82	9.01	1.91	4.19	4.19
8.63*	176.81	9.01	1.83	4.11	4.11
8.54*	167.8	9.01	1.75	4.03	4.03
8.45*	158.79	9.01	1.67	3.95	3.95
8.36*	149.78	9.01	1.58	3.86	3.86
8.27*	140.78	9.01	1.5	3.78	3.78
8.18*	131.77	9.01	1.42	3.7	3.7
8.09*	122.76	9.01	1.34	3.62	3.62
8	113.75	2.14	1.26	3.54	3.54
7	111.61	10.02	1.23	3.73	3.73
6	101.59	0.01	1.07	3.57	3.57
5.9	101.58	12.6	1.07	3.57	3.57
5	88.98	0.01	0.87	3.37	3.37
4.9	88.97	8.78	0.87	4.9	4.74
4.77142*	80.19	8.78	0.77	4.9	4.73
4.64285*	71.41	8.78	0.67	4.9	4.71
4.51428*	62.63	8.78	0.57	4.9	4.7
4.38571*	53.86	8.78	0.47	4.9	4.69
4.25714*	45.08	8.78	0.37	4.9	4.68
4.12857*	36.3	8.78	0.27	4.9	4.66
4	27.52	4.59	0.16	4.9	4.65
3.75	22.93	4.59	0.11	4.9	4.78
3.25	18.35	4.59	0.06	4.9	4.91

3	13.76	4.59	0.01	4.9	5.04
2.75	9.17	4.59	-0.05	4.9	3.69
2.25	4.59	4.59	-0.1	4.9	2.35
2	0	0	-0.15	4.9	1

Tabella 18: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica

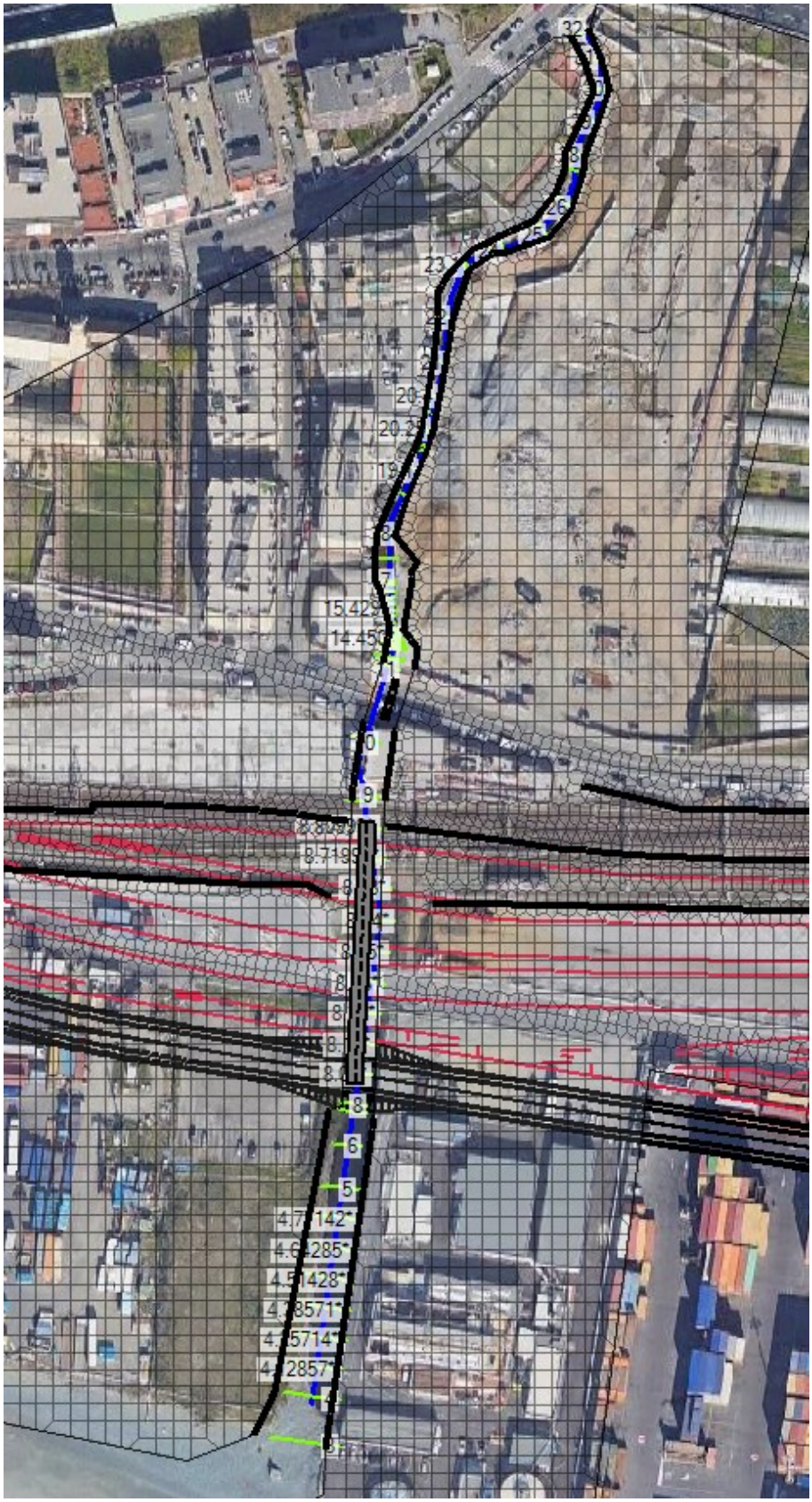


Figura 7.5 – Planimetria del corso d'acqua e localizzazione delle sezioni implementate nel modello idraulico

7.2.2.3 Scenario 3

La geometria dello stato di progetto 3 è stata sviluppata a partire da quella dello stato attuale, alla quale sono state applicate le modifiche relative alla macrofase 1 dei lavori.

Nella prima fase progettuale, definita macrofase 1, vengono infatti completati gli interventi da mare fino all'altezza della rotonda esistente nei pressi della viabilità portuale. Tra questa fase realizzativa e la fase successiva (macrofase 2) è possibile trascorrano alcuni anni e pertanto si è scelto di analizzare anche questa soluzione progettuale intermedia, comprensiva di:

- Sistemazioni a valle dell'Aurelia:
  - Manufatto idraulico con sezione 8.5x2.28 m sottopassante la viabilità portuale in progetto di lunghezza pari a circa 45 m con pendenza del fondo pari allo 0.9 %;
  - Tratto a sezione a U 8.5x2.5m in cls di lunghezza circa 25 m con pendenza del fondo pari allo 1.0 %;
  - Riprofilatura di un tratto di corso d'acqua di lunghezza 75 m con pendenza del fondo pari all'1% in prossimità del recapito a mare e sezione di deflusso di forma trapezoidale.

In altre parole, dalla sezione di monte del modello sino alla sezione 130 la geometria dell'alveo è quella rappresentata nello stato attuale, mentre dalla sezione 130 sino a mare vale la geometria dello stato di progetto.

Si riportano di seguito le caratteristiche geometriche delle sezioni utilizzate nell'analisi idraulica della soluzione progettuale in esame.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Length Chnl	Min Ch El [m s.l.m.]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]
437.89	453.6	9	13.07	18.03	17.02
429.05	444.6	8.9	11.67	16.75	17.02
420.2	435.7	9.5	11.3	15.46	17.14
411.36	426.2	10.6	10.98	15.14	14.81
402.95	415.6	4.1	10.63	15.28	14.07
394.54	411.5	0.6	10.38	15.46	13.97
394	410.9	9.6	10.38	15.46	13.97
386.13	401.3	10.3	9.97	14.03	14
377.27	391	12.3	9.55	13.67	13.69
368.41	378.7	3.8	9.18	14.03	13.72
359.54	374.9	0.5	8.63	13.99	13.89
359	374.4	7.8	8.63	13.99	13.89
352	366.6	1	8.62	13.08	13.62
350.68	365.6	16.2	8.49	12.92	12.68
334.51	349.4	13.1	8.17	12.23	12.48

321.33	336.3	20	7.85	11.5	12.39
313.25	316.3	1.1	7.35	11.5	11.2
305.16	315.2	3	7.33	11.5	11.64
297.08	312.2	16	6.97	11.5	11.63
280.86	296.2	12.6	6.63	11.13	11.25
268.46	283.6	7.8	5.92	10.72	10.94
261.16	275.8	6.4	5.22	10.28	10.89
253.85	269.4	1.8	5.2	8.7	8.6
252	267.6	12.8	4.72	8.1	8.6
239.14	254.8	5.5	3.38	7.43	8.6
233.77	249.3	5.6	2.61	7.45	7.45
228.4	243.7	5.9	2.56	5.05	5.05
222.65	237.8	3.1	2.55	4.78	4.78
219.65	234.7	8.6	2.54	4.80	4.80
210.9	226.1	1.3	1.99	3.96	4
209.4	224.8	1.2	1.99	6.11	6.11
208.5	223.6	0.6	1.99	5.5	5.5
207.98	223	17.6	1.85	4.09	4.09
188.69	205.4	1.7	1.9	4.09	4.09
188.19	203.7	14.5	1.9	4.09	4.09
162.5	189.2	3.2	1.85	3.80	3.80
161.5	186	0.5	1.82	3.80	3.80
148	173.9	3.3	1.75	3.9	3.9
145	170.6	11.8	1.72	4.41	4.46
130	158.8	0.01	1.67	3.95	3.95
129	158.79	9.01	1.67	3.95	3.95
128	149.78	9.01	1.58	3.86	3.86
115	140.78	9.01	1.50	3.78	3.78
104.8	131.77	9.01	1.42	3.70	3.70
100	122.76	9.01	1.34	3.62	3.62
99	113.75	2.14	1.26	3.54	3.54
82.62	111.61	3.34	1.07	3.57	3.57
80	101.59	0.01	1.07	3.57	3.57
79	101.58	4.2	1.07	3.57	3.57
60	88.98	0.01	0.87	3.37	3.37
59	88.97	8.78	0.87	4.90	4.74
40	80.19	8.78	0.77	4.90	4.73
35	71.41	8.78	0.67	4.90	4.71
30	62.63	8.78	0.57	4.90	4.70
25	53.86	8.78	0.47	4.90	4.69
20	45.08	8.78	0.37	4.90	4.68
15	36.3	8.78	0.27	4.90	4.66

12.02	27.52	4.59	0.16	4.90	4.65
2.18*	22.93	4.59	0.11	4.90	4.78
-7.67*	18.35	4.59	0.06	4.90	4.91
-17.51	13.76	4.59	0.01	4.90	5.04
-18.34*	9.17	4.59	-0.05	4.90	3.69
19.17*	4.59	4.59	-0.10	4.90	2.35
-20			-0.15	4.90	1.00

Tabella 19: Caratteristiche geometriche del tratto di corso d'acqua in esame. River Station=N° sezione ; Cum Ch Len= distanza progressiva delle sezioni, Length Chnl=distanza relativa tra le sezioni; Min CH El= quota minima della sezione; LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica

7.2.3 Geometria piana alluvionale

La geometria della piana alluvionale viene descritta attraverso i dati LIDAR forniti dalla Regione Liguria; nel modello sono state realizzate due aree bi-dimensionali, ciascun separata dalle altre o dal corso d'acqua a cui è collegata o da apposite connessioni idrauliche, che rappresentano le barriere fisiche effettivamente presenti.

Le connessioni idrauliche permettono il collegamento delle aree bidimensionali per sormonto dei rilevati o per attraversamento presso i sottopassi esistenti.

La mesh di calcolo è a maglia rettangolare di dimensione 5X5 m, ma è stata infittita in corrispondenza della rete viaria/ferroviaria tramite l'impiego di opportune breaklines,; tali elementi servono per rappresentare i tracciati stradali ed altre eventuali barriere fisiche presenti sul terreno, che di fatto possono costituire elementi di disconnessione interni all'area di calcolo.

La rete bidimensionale è collegata al modello monodimensionale tramite delle lateral structure da cui si ha lo scambio di acqua (bidirezionale) tra modello monodimensionale e modello bidimensionale. La geometria delle lateral structure è ripresa dai dati dei rilievi topografici eseguiti, integrata ove necessario dai dati LIDAR.

7.2.4 Idrogrammi di piena

Gli idrogrammi di piena sono quelli riportati nel paragrafo 6.4.5.

Nella sezione iniziale del modello idraulico, che sottende circa il 65% del bacino imbrifero, è stato assegnato l'idrogramma del primo sottobacino dell'analisi idrologica (SG1).

In corrispondenza dell'intersezione con la via Aurelia viene assegnato il contributo del sottobacino SG-2, mentre l'idrogramma del sottobacino SG-3 viene inserito nel tratto a cielo aperto che sfocia a mare, a valle della sistemazione ad U.

Pertanto nella seguente tabella si riporta il picco al colmo della piena presso tali sezioni al variare del tempo di ritorno:

	Tr = 50 anni	Tr = 200 anni	Tr = 500 anni
Q monte modello [m^3/s]	23.35	34.98	41.91
Q monte ferrovia [m^3/s]	28.8	42.4	49.14
Q valle ferrovia [m^3/s]	36	53	63

Tabella 20: Portate cumulate al colmo della piena per il rio San Giuliano per diversi tempi di ritorno inserite nel modello idraulico

7.2.5 Condizioni al contorno

Nel caso in esame viene posta la condizione critica nella sezione iniziale e la condizione di moto localmente uniforme nella sezione terminale (pendenze del fondo pari a 0.9%) del tratto in analisi.

Inoltre, è consentita la fuoriuscita dell' acqua a mare tramite la predisposizione di opportune Boundary Condition Lines, a cui è stata assegnata la massima altezza della marea, desunta dalla Rete Mareografica Nazionale di ISPRA; dall'analisi delle registrazioni valide per la stazione di Genova è emerso che il massimo livello registrato dal 2010 ad oggi (ovvero, durante tutto il periodo di registrazioni disponibile) è pari a 0.90 m s.l.m..

7.2.6 Parametri idraulici

La resistenza al moto della sezione viene espressa attraverso il coefficiente di Manning n. La scelta dei valori del parametro è stata fatta sulla base delle indicazioni riportate nella letteratura scientifica e nel manuale di Hec-Ras.

Le scabrezze sono state definite a partire dai valori di letteratura, tenuto conto delle indicazioni riportate nella norma regionale R.R. 03/2011

Descrizione corso d'acqua	Coeff. di scabrezza di Gauckler-Strickler Ks (m1/3s-1)
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

Tabella 21: Valori di scabrezza indicati nella norma regionale R.R. 03/2011.

In particolare, si è assegnato un valore di 0.033 m$^{-1/3}$/s (ks=30 m$^{1/3}$ s^{-1}) per il fondo dell'alveo e per il tratto di sponde naturali, mentre invece per i tratti scatolari e per le pareti in calcestruzzo di nuova realizzazione è stato assegnato un valore di 0.022 m$^{-1/3}$/s (ks=45 m$^{1/3}$ s^{-1}).

7.2.7 Scenari di simulazione

Gli scenari di modellazione idraulica previsti per il rio San Giuliano sono quindi quattro:

- **Stato Attuale:** si riferisce allo stato dei luoghi al momento della redazione della presente analisi, comprensivo degli interventi contenuti nel progetto "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce - 1° lotto" recentemente realizzati nell'ambito degli interventi sul lotto ex-Verrina;
- **Scenario 1:** considera tutti gli interventi previsti in progetto e lo stato attuale dei luoghi grossomodo nel tratto a monte della SS1;
- **Scenario 2:** considera tutti gli interventi oggetto del presente progetto e gli interventi previsti nel progetto "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce" non ancora eseguiti;
- **Scenario 3:** si riferisce ai soli interventi di macrofase 1 che sono circoscritti al tratto d'alveo compreso tra la rotatoria della viabilità portuale esistente e lo sbocco a mare.

7.3 Risultati della modellazione idraulica

7.3.1 Stato Attuale

Il tratto oggetto dell'analisi è stato implementato in un unico modello matematico, inserendo la geometria delle sezioni nello scenario attuale. Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione con il codice di calcolo Hec-Ras per ogni tempo di ritorno indagato.

7.3.1.1 Tr50 anni

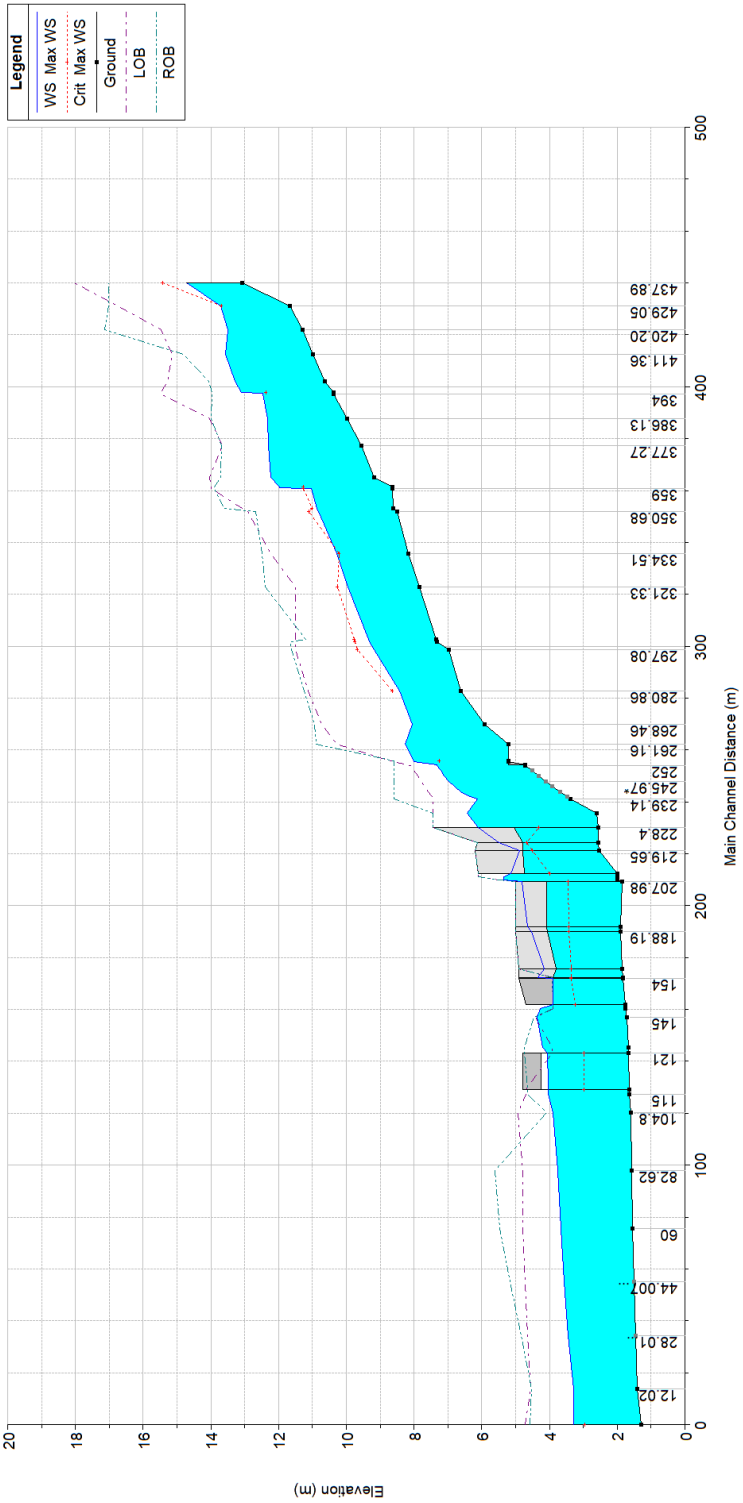


Figura 7.6 - Stato attuale, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 50 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
437.89	440	23.35	13.07	15.42	14.73	0.102147	6.96	2.37
429.05	431	22.79	11.67	13.69	13.7	0.01614	3.92	1
420.2	422.1	21.77	11.3		13.5	0.010715	3.23	0.73
411.36	412.6	22.77	10.98		13.56	0.007861	2.93	0.63
402.95	402	23.71	10.63		13.29	0.014966	4.21	0.91
394.54	397.9	24.2	10.38	12.36	13.1	0.006915	2.86	0.59
394	397.3	23.78	10.38		12.48	0.014996	3.8	0.9
386.13	387.7	24.86	9.97		12.33	0.002806	2.26	0.49
377.27	377.4	24.66	9.55		12.29	0.002772	2.29	0.47
368.41	365.1	24.08	9.18		12.22	0.002563	2.38	0.48
359.54	361.3	23.8	8.63	11.27	11.97	0.00496	3	0.62
359	360.8	23.67	8.63	11.27	11.04	0.018421	4.82	1.22
352	353	23.62	8.62	11	10.87	0.024106	4.89	1.1
350.68	352	23.61	8.49	11.1	10.82	0.03061	5.3	1.23
334.51	335.8	23.54	8.17	10.22	10.29	0.01386	4.12	0.95
321.33	322.7	23.51	7.85	10.26	9.96	0.027852	5.28	1.26
313.25	302.7	23.48	7.35	9.76	9.35	0.031133	5.65	1.38
305.16	301.6	23.48	7.33	9.75	9.31	0.037858	5.7	1.42
297.08	298.6	23.47	6.97	9.67	9.17	0.042307	6.04	1.46
280.86	282.6	23.47	6.63	8.65	8.43	0.02395	4.75	1.22
268.46	270	23.47	5.92		8.05	0.009489	3.4	0.84
261.16	262.2	23.45	5.22		8.26	0.001689	1.76	0.37
253.85	255.8	23.11	5.2	7.26	7.99	0.008957	2.77	0.6
252	254	20	4.72		7.31	0.008192	2.58	0.56
239.14	241.2	27.62	3.38		6.12	0.027115	4.24	0.86
233.77	235.7	28.53	2.61		6.44	0.003372	1.95	0.32
228.4	230.1	28.53	2.56	4.32	6.1	0.006024	2.94	0.5
222.65	224.2	28.53	2.55	4.67	5.49	0.016537	4.32	0.8
219.65	221.1	28.53	2.54	4.51	4.87	0.027308	5.35	1.12
210.9	212.5	28.53	1.99	4	5.13	0.007032	3.22	0.58
209.4	211.2	28.53	1.99		5.35	0.00119	1.91	0.33
208.5	210	28.53	1.99		5.34	0.001192	1.91	0.33
207.98	209.4	28.51	1.85	3.45	4.82	0.009433	3.47	0.64
188.69	191.8	28.51	1.9	3.42	4.65	0.009668	3.46	0.67
188.19	190.1	28.51	1.9	3.43	4.53	0.011798	3.71	0.73
162.5	175.6	28.51	1.85	3.35	4.17	0.015791	4.1	0.86
161.5	172.4	28.51	1.82	3.35	4.34	0.005825	2.79	0.56
148	160.3	28.51	1.75		4.28	0.003916	2.19	0.44

145	157	28.51	1.72		4.37	0.000374	0.81	0.19
130	145.2	28.51	1.66		4.21	0.001147	1.8	0.36
115	127.3	28.51	1.65		4.04	0.001434	1.93	0.4
104.8	120.3	41.58	1.6		3.9	0.002527	1.86	0.46
82.62	97.8	41.58	1.58		3.75	0.003565	2.25	0.53
60	75.6	41.58	1.55		3.66	0.003703	2.25	0.55
44.007*	54.97	41.58	1.5		3.57	0.004148	2.32	0.58
28.013*	34.33	41.58	1.45		3.45	0.0049	2.4	0.64
12.02	13.7	41.57	1.4		3.29	0.006471	2.55	0.72
-17.51		41.57	1.29	2.96	3.28	0.005005	2.13	0.64

Tabella 22: Stato attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.1.2 Tr200 anni

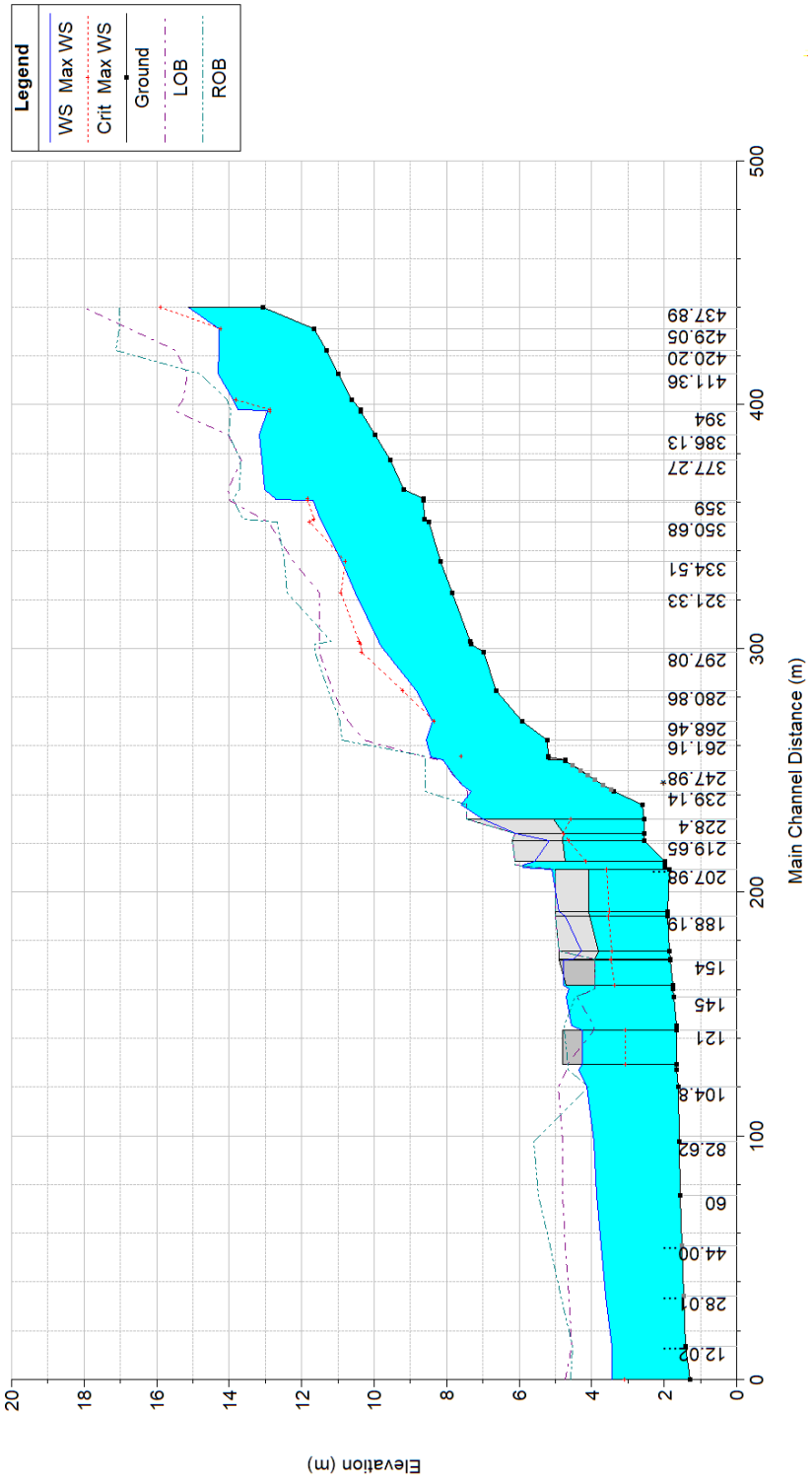


Figura 7.7 - Stato attuale, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 200 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m3/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
437.89	440	34.98	13.07	15.88	15.14	0.068982	7.07	2.02
429.05	431	34.98	11.67	14.22	14.29	0.014817	4.37	0.96
420.2	422.1	34.97	11.3		14.28	0.011627	3.75	0.72
411.36	412.6	34.98	10.98		14.3	0.007874	3.34	0.64
402.95	402	35.01	10.63	13.8	13.89	0.016391	4.82	0.96
394.54	397.9	35.02	10.38	12.86	13.76	0.007473	3.22	0.6
394	397.3	35.02	10.38	12.86	12.94	0.017345	4.43	0.95
386.13	387.7	35.01	9.97		13.17	0.002133	2.28	0.43
377.27	377.4	35.01	9.55		13.1	0.002415	2.41	0.44
368.41	365.1	35.01	9.18		13.02	0.002564	2.62	0.47
359.54	361.3	35.01	8.63	11.83	12.72	0.005109	3.34	0.61
359	360.8	35.01	8.63	11.83	11.67	0.015421	5.04	1.11
352	353	35.01	8.62	11.67	11.49	0.025002	5.51	1.1
350.68	352	35	8.49	11.77	11.44	0.030425	5.9	1.21
334.51	335.8	35	8.17	10.79	10.88	0.014512	4.68	0.95
321.33	322.7	35	7.85	10.92	10.53	0.028507	5.94	1.26
313.25	302.7	35	7.35	10.43	9.89	0.03288	6.41	1.37
305.16	301.6	35	7.33	10.38	9.85	0.037855	6.4	1.39
297.08	298.6	35	6.97	10.36	9.68	0.045832	6.94	1.48
280.86	282.6	35	6.63	9.2	8.84	0.026457	5.57	1.28
268.46	270	35	5.92	8.33	8.4	0.012018	4.19	0.96
261.16	262.2	35	5.22		8.57	0.002638	2.32	0.46
253.85	255.8	30.18	5.2	7.61	8.43	0.009413	2.99	0.61
252	254	25.94	4.72		8.09	0.006221	2.45	0.47
239.14	241.2	35.93	3.38		7.33	0.017063	3.67	0.63
233.77	235.7	35.28	2.61		7.6	0.003971	1.85	0.26
228.4	230.1	34.81	2.56	4.57	7	0.00897	3.58	0.54
222.65	224.2	34.68	2.55	4.78	6.09	0.024436	5.25	0.89
219.65	221.1	34.4	2.54	4.63	5.18	0.039697	6.45	1.27
210.9	212.5	34.73	1.99	4.16	5.56	0.010418	3.92	0.66
209.4	211.2	34.73	1.99		5.9	0.001204	1.99	0.32
208.5	210	34.57	1.99		5.9	0.001192	1.98	0.32
207.98	209.4	33.63	1.85	3.59	5.11	0.016635	3.86	0.68
188.69	191.8	31.93	1.9	3.52	4.89	0.012121	3.88	0.72
188.19	190.1	31.93	1.9	3.54	4.74	0.01479	4.16	0.79
162.5	175.6	31.93	1.85	3.44	4.28	0.019796	4.59	0.94
161.5	172.4	31.93	1.82	3.47	4.5	0.007303	3.13	0.61
148	160.3	31.93	1.75		4.62	0.003007	2.09	0.39

145	157	31.84	1.72		4.7	0.00028	0.77	0.17
130	145.2	31.84	1.66		4.55	0.00095	1.78	0.33
115	127.3	31.84	1.65		4.35	0.001197	1.91	0.37
104.8	120.3	50.95	1.6		4.14	0.002598	1.99	0.47
82.62	97.8	50.95	1.58		3.94	0.003962	2.48	0.57
60	75.6	50.95	1.55		3.85	0.004124	2.49	0.58
44.007*	54.97	50.95	1.5		3.74	0.004604	2.56	0.62
28.013*	34.33	50.95	1.45		3.61	0.005415	2.65	0.67
12.02	13.7	50.95	1.4		3.43	0.007114	2.81	0.77
-17.51		50.95	1.29	3.1	3.44	0.005009	2.28	0.65

Tabella 23: Stato attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.1.3 Tr500 anni

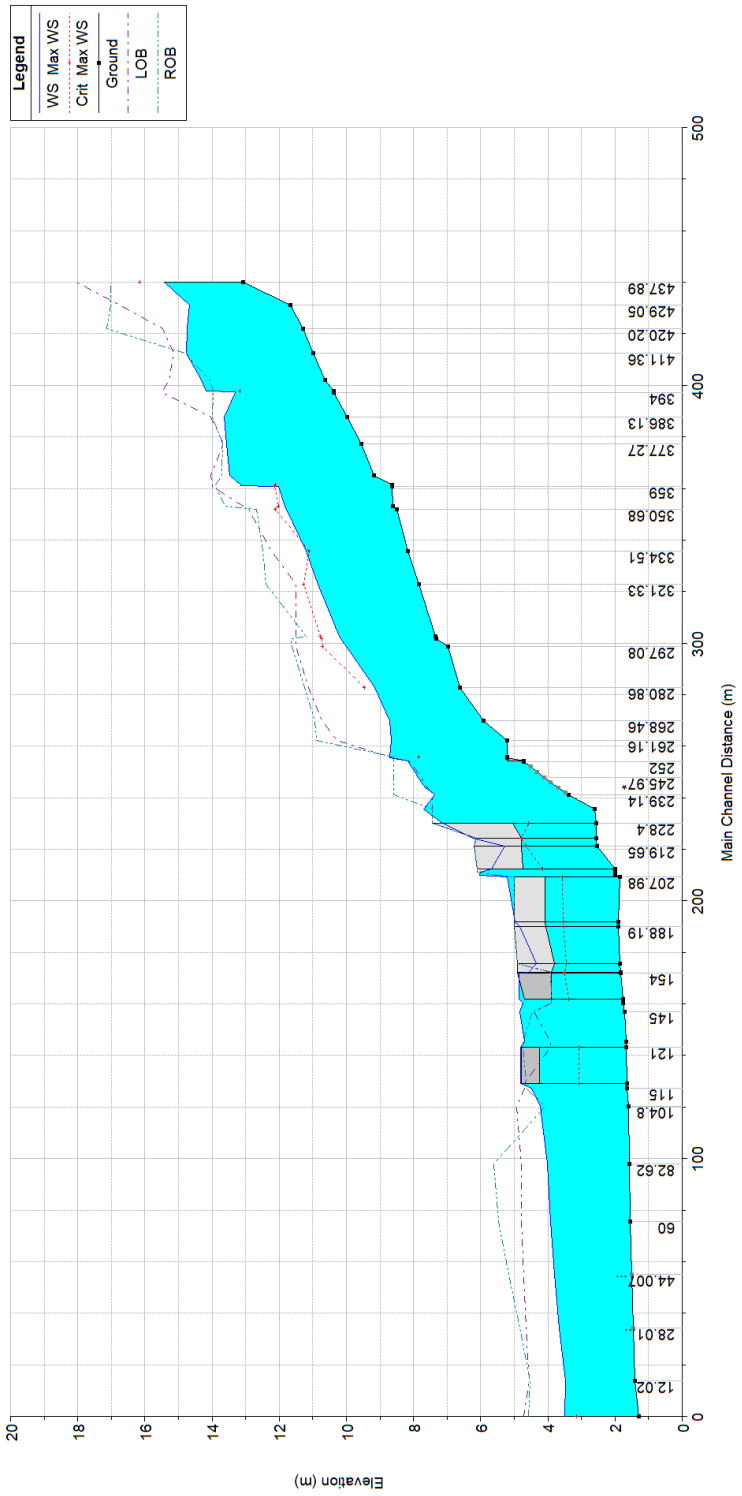


Figura 7.8 - Stato attuale, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 500 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m3/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
437.89	440	41.88	13.07	16.14	15.41	0.053178	6.91	1.8
429.05	431	41.43	11.67		14.68	0.012677	4.36	0.88
420.2	422.1	41.94	11.3		14.74	0.01129	3.86	0.68
411.36	412.6	41.21	10.98		14.77	0.007022	3.37	0.6
402.95	402	41.87	10.63		14.31	0.015376	4.93	0.93
394.54	397.9	42.47	10.38	13.16	14.18	0.007759	3.42	0.6
394	397.3	42.47	10.38		13.31	0.016828	4.6	0.92
386.13	387.7	42.21	9.97		13.64	0.002015	2.35	0.42
377.27	377.4	42.15	9.55		13.57	0.002388	2.53	0.43
368.41	365.1	42.07	9.18		13.47	0.002611	2.75	0.46
359.54	361.3	41.94	8.63	12.12	13.13	0.005255	3.52	0.61
359	360.8	41.91	8.63	12.12	12.02	0.014522	5.17	1.06
352	353	41.89	8.62	12.02	11.83	0.02549	5.81	1.1
350.68	352	41.89	8.49	12.12	11.78	0.030493	6.18	1.19
334.51	335.8	41.89	8.17	11.1	11.2	0.0149	4.95	0.95
321.33	322.7	41.73	7.85	11.26	10.85	0.028397	6.21	1.24
313.25	302.7	41.63	7.35	10.77	10.21	0.032165	6.64	1.35
305.16	301.6	41.62	7.33	10.73	10.17	0.036452	6.62	1.35
297.08	298.6	41.57	6.97	10.71	10.01	0.044897	7.2	1.44
280.86	282.6	40.92	6.63	9.45	9.15	0.02374	5.62	1.21
268.46	270	39.91	5.92		8.71	0.010067	4.1	0.89
261.16	262.2	42.86	5.22		8.67	0.003524	2.73	0.53
253.85	255.8	35.28	5.2	7.85	8.7	0.009817	3.14	0.62
252	254	33.53	4.72		8.16	0.00976	3.09	0.59
239.14	241.2	36.84	3.38		7.36	0.017489	3.72	0.64
233.77	235.7	37.98	2.61		7.69	0.004336	1.95	0.28
228.4	230.1	35.06	2.56	4.58	7.14	0.009099	3.61	0.54
222.65	224.2	35.06	2.55	4.78	6.21	0.030456	5.1	0.85
219.65	221.1	35.05	2.54	4.64	5.28	0.041209	6.57	1.27
210.9	212.5	35.07	1.99	4.17	5.67	0.010625	3.95	0.66
209.4	211.2	35.07	1.99		6.02	0.001138	1.95	0.31
208.5	210	34.86	1.99		6.02	0.001123	1.94	0.31
207.98	209.4	32.98	1.85	3.57	5.2	0.013649	3.61	0.63
188.69	191.8	32.44	1.9	3.53	4.99	0.012513	3.94	0.72
188.19	190.1	32.44	1.9	3.55	4.83	0.015269	4.23	0.79
162.5	175.6	32.44	1.85	3.45	4.35	0.020437	4.67	0.94
161.5	172.4	32.44	1.82	3.49	4.58	0.007539	3.18	0.61
148	160.3	32.44	1.75		4.74	0.0028	2.07	0.38

145	157	32.19	1.72		4.83	0.000239	0.73	0.15
130	145.2	31.93	1.66		4.69	0.000813	1.7	0.31
115	127.3	31.89	1.65		4.48	0.001019	1.82	0.35
104.8	120.3	54.53	1.6		4.23	0.002584	2.03	0.47
82.62	97.8	54.61	1.58		4.01	0.004105	2.56	0.58
60	75.6	54.6	1.55		3.92	0.004274	2.57	0.59
44.007*	54.97	54.6	1.5		3.81	0.004762	2.64	0.63
28.013*	34.33	54.6	1.45		3.67	0.005593	2.73	0.69
12.02	13.7	54.6	1.4		3.48	0.007335	2.91	0.78
-17.51		54.6	1.29	3.15	3.5	0.005001	2.33	0.65

Tabella 24: Stato attuale, Grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

In riferimento allo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, il rio non è in grado di smaltire la portata di progetto lungo l'intero tratto esaminato dando luogo a diverse tracimazioni. Le principali si localizzano tra le sezioni:

- 228.4-130 in corrispondenza della strada SP1 Aurelia e l'attuale parco ferroviario sia in destra che in sinistra idrografica;

7.3.2 Stato Progetto - Scenario 1

Il tratto oggetto dell'analisi è stato implementato in un unico modello matematico, inserendo la geometria delle sezioni nella configurazione di progetto. Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione con il codice di calcolo Hec-Ras per ogni tempo di ritorno indagato.

7.3.2.1 Tr50 anni

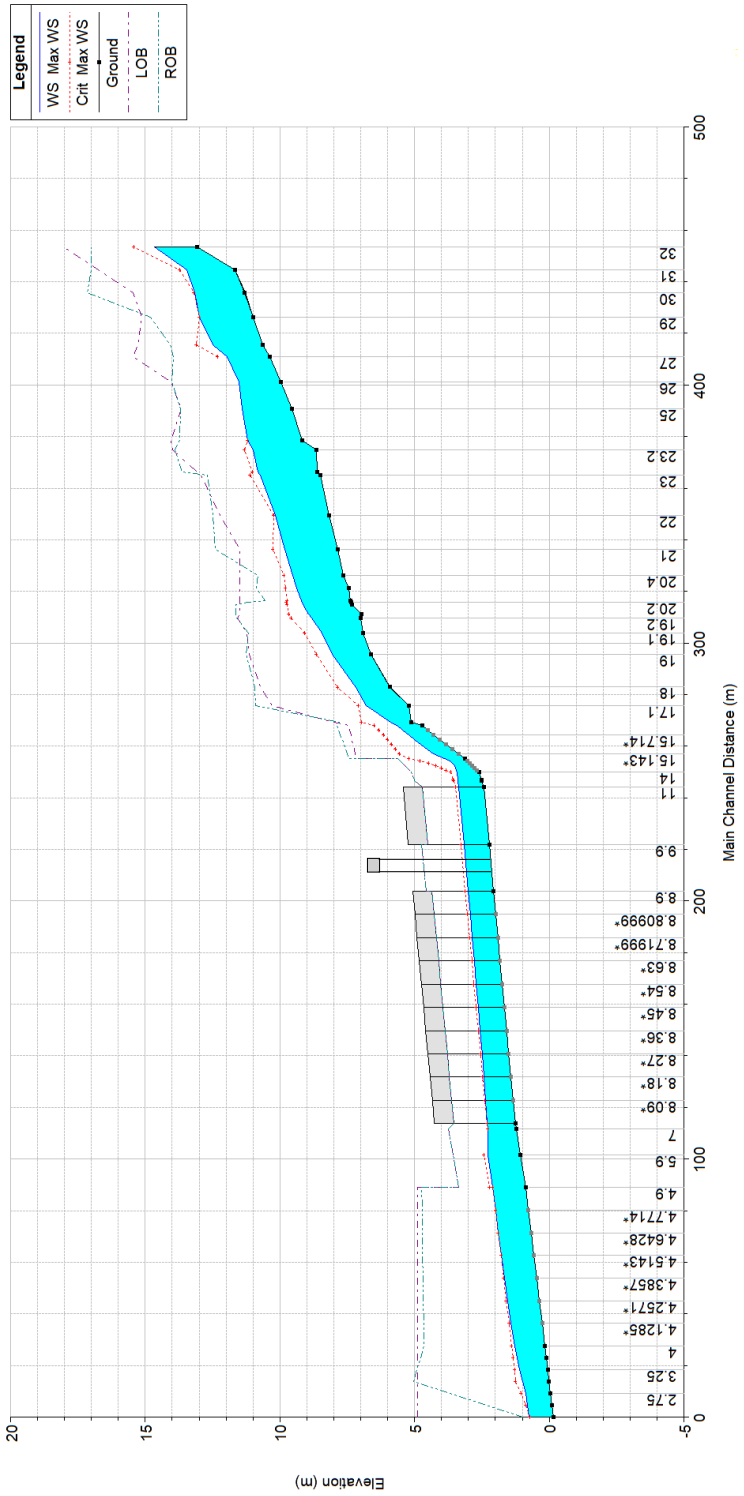


Figura 7.9 - Stato di progetto 1, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 50 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m^3/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.5	23.35	13.07	15.41	14.67	0.127309	7.47	2.62
31	444.5	23.35	11.67	13.71	13.46	0.027544	4.72	1.30
30	435.6	23.35	11.30	13.18	13.17	0.020014	4.14	1.01
29	426.1	23.34	10.98	13.00	12.97	0.020258	4.09	1.02
28	415.5	23.31	10.63	13.12	12.50	0.046997	6.32	1.61
27	410.8	23.30	10.38	12.32	11.96	0.035914	5.16	1.43
26	401.2	23.15	9.97		11.51	0.010067	3.38	0.93
25	390.9	23.59	9.55		11.42	0.009070	3.40	0.85
24	378.6	24.00	9.18	11.18	11.21	0.010388	3.92	0.99
23.2	374.8	24.38	8.63	11.30	11.01	0.020655	5.07	1.29
23.1	366.2	23.78	8.62	11.02	10.80	0.026706	5.08	1.16
23	364.93	23.78	8.49	11.12	10.74	0.035037	5.58	1.32
22	349.32	23.53	8.17	10.22	10.16	0.016779	4.41	1.05
21	336.15	23.47	7.85	10.26	9.82	0.034692	5.71	1.41
20.4	326.15	23.41	7.64	9.86	9.53	0.025245	5.29	1.32
20.3	321.15	23.39	7.43	9.80	9.39	0.030206	5.68	1.39
20.25	316.42	23.39	7.38	9.74	9.21	0.044540	6.02	1.54
20.2	315.82	23.39	7.35	9.76	9.19	0.041060	6.23	1.60
20.1	314.73	23.38	7.33	9.74	9.13	0.052059	6.36	1.68
20	311.32	23.38	6.97	9.67	8.94	0.062838	6.94	1.80
19.2	309.78	23.38	7.00	9.57	8.83	0.082761	6.99	1.89
19.1	303.78	23.37	6.91	9.09	8.45	0.044049	6.47	1.91
19	295.67	23.36	6.63	8.65	8.05	0.054319	6.25	1.84
18	282.89	23.36	5.92	7.86	7.19	0.081882	6.91	2.41
17.1	275.73	23.35	5.22	7.08	6.79	0.030210	4.50	1.44
17	269.22	23.35	5.11	6.97	5.88	0.254207	11.53	4.77
16	267.99	23.35	4.72	6.50	5.65	0.118615	8.18	2.89
15.857*	266.16	23.35	4.51	6.32	5.44	0.116799	8.46	2.98
15.714*	264.33	23.35	4.30	6.16	5.22	0.122534	8.83	3.09
15.571*	262.5	23.35	4.07	6.00	5.00	0.118272	9.25	3.23
15.429*	260.66	23.35	3.83	5.85	4.78	0.124214	9.74	3.39
15.286*	258.83	23.35	3.60	5.70	4.55	0.127357	10.42	3.64
15.143*	257	23.35	3.36	5.57	4.31	0.139764	11.40	4.02
15	255.16	20.00	3.12	5.23	3.88	0.237986	13.93	5.60
14.9	255.06	28.53	3.12	5.22	3.85	0.211159	13.02	4.86
14.750*	254.2	28.53	3.03	4.79	3.70	0.150111	11.02	4.32
14.600*	253.33	28.53	2.95	4.47	3.59	0.103306	9.27	3.70
14.450*	252.46	28.53	2.87	4.22	3.52	0.065857	7.64	3.03

14.300*	251.6	28.53	2.78	4.01	3.47	0.039330	6.21	2.39
14.150*	250.73	28.53	2.70	3.82	3.44	0.022945	5.03	1.86
14	249.86	28.53	2.61	3.65	3.43	0.013495	4.11	1.45
13	247.05	28.53	2.52	3.56	3.39	0.011001	3.85	1.31
12	246.56	28.53	2.51	3.55	3.39	0.010662	3.81	1.29
11	244.14	28.53	2.43	3.48	3.36	0.008914	3.59	1.19
10	221.94	28.53	2.23	3.28	3.17	0.008789	3.58	1.18
9.9	221.93	28.53	2.23	3.27	3.17	0.008799	3.58	1.18
9	203.84	28.53	2.07	3.11	3.01	0.008737	3.57	1.18
8.9	203.83	28.53	2.07	3.12	3.01	0.008745	3.57	1.18
8.80999*	194.82	28.53	1.99	3.04	2.93	0.008666	3.56	1.17
8.71999*	185.82	28.53	1.91	2.96	2.85	0.008563	3.55	1.16
8.63*	176.81	28.53	1.83	2.87	2.78	0.008436	3.53	1.16
8.54*	167.8	28.53	1.75	2.79	2.70	0.008271	3.51	1.15
8.45*	158.79	28.53	1.67	2.71	2.63	0.008079	3.48	1.13
8.36*	149.78	28.53	1.58	2.63	2.56	0.007840	3.45	1.12
8.27*	140.78	28.53	1.50	2.55	2.49	0.007552	3.41	1.10
8.18*	131.77	28.53	1.42	2.47	2.42	0.007217	3.36	1.07
8.09*	122.76	28.53	1.34	2.39	2.36	0.006844	3.30	1.04
8	113.75	28.53	1.26	2.31	2.30	0.006421	3.23	1.01
7	111.61	28.53	1.23	2.27	2.29	0.006114	3.18	0.99
6	101.59	28.52	1.07		2.27	0.004110	2.79	0.81
5.9	101.58	41.60	1.07	2.41	2.27	0.008741	4.07	1.19
5	88.98	41.60	0.87	2.21	2.10	0.018254	3.97	1.14
4.9	88.97	41.60	0.87	2.09	2.10	0.011970	3.28	0.99
4.77142*	80.19	41.60	0.77	1.99	2.00	0.012183	3.30	1.00
4.64285*	71.41	41.60	0.67	1.89	1.89	0.012484	3.33	1.01
4.51428*	62.63	41.60	0.57	1.79	1.78	0.012862	3.37	1.02
4.38571*	53.86	41.60	0.47	1.69	1.66	0.013363	3.42	1.04
4.25714*	45.08	41.60	0.37	1.59	1.54	0.014159	3.49	1.07
4.12857*	36.3	41.60	0.27	1.49	1.41	0.015362	3.58	1.11
4	27.52	41.60	0.16	1.39	1.27	0.017327	3.73	1.18
3.75	22.93	41.60	0.11	1.34	1.19	0.019122	3.86	1.23
3.25	18.35	41.60	0.06	1.29	1.10	0.021743	4.03	1.31
3	13.76	41.60	0.01	1.24	0.99	0.026243	4.30	1.43
2.75	9.17	41.60	-0.05	1.03	0.88	0.020179	3.71	1.27
2.25	4.59	41.60	-0.10	0.86	0.80	0.015346	3.20	1.11
2	0	41.60	-0.15	0.71	0.74	0.011137	2.68	0.95

Tabella 25: Stato di progetto 1, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione;

Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.2.2 Tr200 anni

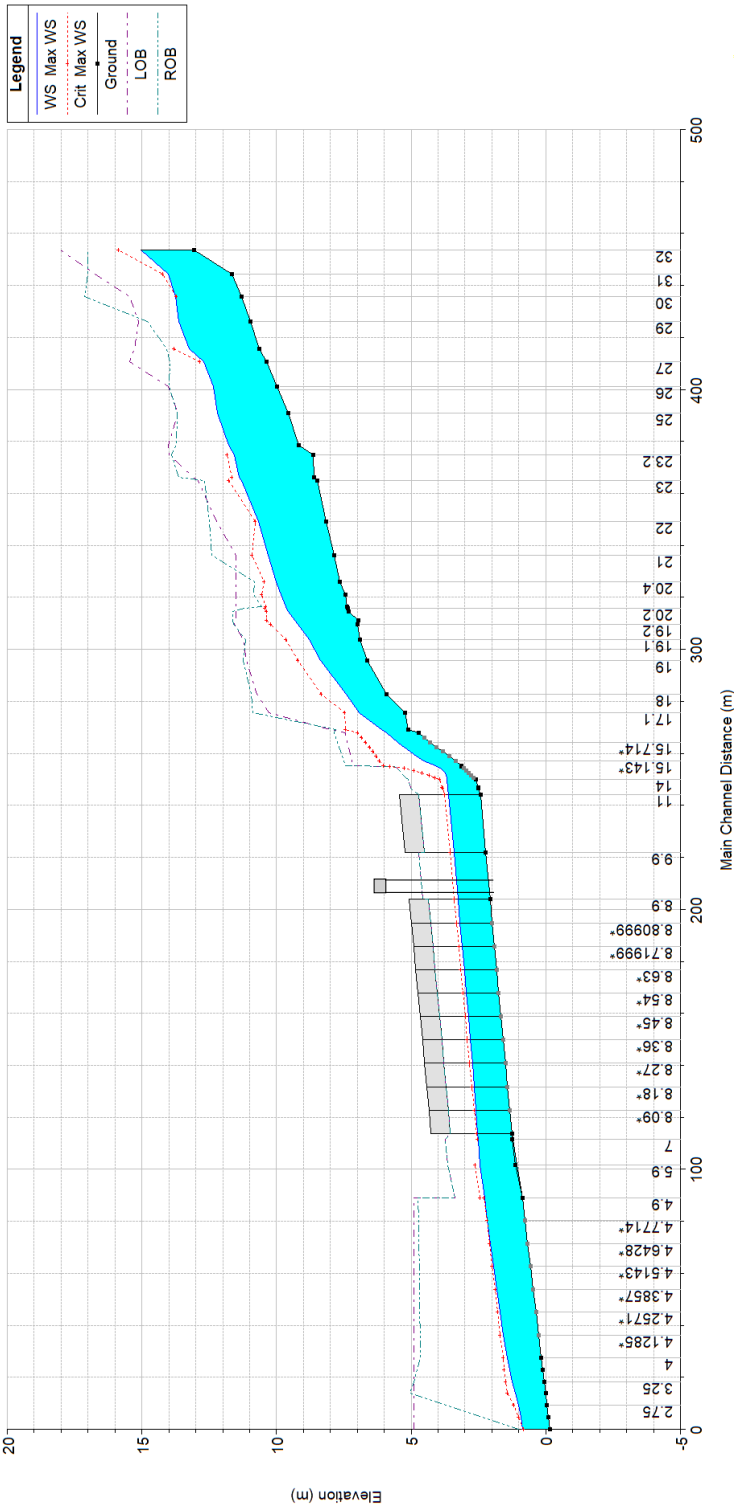


Figura 7.10 – Stato di progetto 1, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno 200 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.5	34.98	13.07	15.88	15.03	0.089669	7.70	2.29
31	444.5	34.98	11.67	14.22	14.01	0.022150	5.01	1.17
30	435.6	34.98	11.30	13.72	13.76	0.019869	4.60	0.97
29	426.1	34.98	10.98		13.62	0.017255	4.38	0.94
28	415.5	34.97	10.63	13.80	13.23	0.034857	6.36	1.39
27	410.8	34.97	10.38	12.86	12.70	0.023675	4.97	1.12
26	401.2	34.96	9.97		12.33	0.005516	3.17	0.69
25	390.9	34.96	9.55		12.19	0.006280	3.39	0.71
24	378.6	34.97	9.18		11.78	0.009104	4.17	0.92
23.2	374.8	34.97	8.63	11.82	11.57	0.017596	5.29	1.19
23.1	366.2	34.96	8.62	11.67	11.37	0.028314	5.77	1.17
23	364.93	34.96	8.49	11.77	11.30	0.035534	6.24	1.31
22	349.32	34.96	8.17	10.79	10.68	0.018143	5.07	1.07
21	336.15	34.96	7.85	10.92	10.32	0.036882	6.52	1.44
20.4	326.15	34.96	7.64	10.46	10.00	0.027883	6.12	1.35
20.3	321.15	34.96	7.43	10.54	9.84	0.035584	6.71	1.46
20.25	316.42	34.96	7.38	10.40	9.64	0.049570	7.04	1.62
20.2	315.82	34.96	7.35	10.42	9.61	0.046937	7.31	1.67
20.1	314.73	34.96	7.33	10.38	9.55	0.056738	7.40	1.73
20	311.32	34.96	6.97	10.36	9.33	0.073316	8.23	1.91
19.2	309.78	34.96	7.00	10.22	9.21	0.090828	8.19	1.98
19.1	303.78	34.96	6.91	9.65	8.80	0.046411	7.45	1.95
19	295.67	34.96	6.63	9.20	8.36	0.060464	7.40	1.94
18	282.89	34.96	5.92	8.34	7.41	0.089957	8.21	2.56
17.1	275.73	34.96	5.22	7.47	6.93	0.045479	5.93	1.80
17	269.22	34.96	5.11	7.44	6.11	0.207933	12.38	4.49
16	267.99	34.96	4.72	7.00	5.91	0.115272	9.31	2.89
15.857*	266.16	34.96	4.51	6.84	5.70	0.113162	9.60	2.96
15.714*	264.33	34.96	4.30	6.69	5.49	0.119160	9.97	3.06
15.571*	262.5	34.96	4.07	6.55	5.27	0.118955	10.45	3.20
15.429*	260.66	34.96	3.83	6.42	5.04	0.128164	11.07	3.39
15.286*	258.83	34.96	3.60	6.29	4.80	0.136796	11.97	3.70
15.143*	257	34.96	3.36	6.18	4.53	0.160784	13.39	4.22
15	255.16	34.27	3.12	6.04	4.08	0.314756	17.92	6.31
14.9	255.06	40.87	3.12	5.79	4.06	0.215277	14.61	4.82
14.750*	254.2	40.87	3.03	5.26	3.90	0.138010	12.04	4.12
14.600*	253.33	40.87	2.95	4.89	3.81	0.087179	9.89	3.41
14.450*	252.46	40.87	2.87	4.59	3.75	0.053458	8.08	2.75

14.300*	251.6	40.87	2.78	4.34	3.71	0.032351	6.61	2.19
14.150*	250.73	40.87	2.70	4.13	3.69	0.019755	5.44	1.75
14	249.86	40.87	2.61	3.94	3.67	0.012311	4.53	1.40
13	247.05	40.87	2.52	3.85	3.64	0.010465	4.29	1.30
12	246.56	40.87	2.51	3.83	3.64	0.010217	4.26	1.28
11	244.14	40.87	2.43	3.76	3.61	0.008876	4.07	1.19
10	221.94	40.87	2.23	3.56	3.42	0.008786	4.05	1.19
9.9	221.93	40.87	2.23	3.56	3.42	0.008786	4.05	1.19
9	203.84	40.87	2.07	3.40	3.26	0.008744	4.05	1.19
8.9	203.83	40.87	2.07	3.40	3.26	0.008743	4.05	1.19
8.80999*	194.82	40.87	1.99	3.32	3.18	0.008694	4.04	1.18
8.71999*	185.82	40.86	1.91	3.24	3.10	0.008617	4.03	1.18
8.63*	176.81	40.85	1.83	3.16	3.03	0.008527	4.01	1.17
8.54*	167.8	40.84	1.75	3.08	2.95	0.008419	4.00	1.16
8.45*	158.79	40.82	1.67	3.00	2.87	0.008292	3.98	1.16
8.36*	149.78	40.79	1.58	2.91	2.80	0.008137	3.95	1.14
8.27*	140.78	40.45	1.50	2.83	2.73	0.007815	3.89	1.12
8.18*	131.77	40.39	1.42	2.74	2.66	0.007567	3.84	1.10
8.09*	122.76	40.33	1.34	2.66	2.59	0.007297	3.80	1.08
8	113.75	39.49	1.26	2.56	2.53	0.006709	3.67	1.04
7	111.61	39.44	1.23	2.53	2.51	0.006444	3.62	1.02
6	101.59	39.29	1.07		2.46	0.005072	3.34	0.90
5.9	101.58	52.28	1.07	2.63	2.46	0.008981	4.44	1.20
5	88.98	52.28	0.87	2.44	2.28	0.019275	4.37	1.18
4.9	88.97	52.28	0.87	2.28	2.28	0.012190	3.56	1.01
4.77142*	80.19	52.28	0.77	2.18	2.17	0.012426	3.59	1.02
4.64285*	71.41	52.28	0.67	2.08	2.06	0.012779	3.62	1.03
4.51428*	62.63	52.28	0.57	1.98	1.95	0.013205	3.67	1.05
4.38571*	53.86	52.28	0.47	1.88	1.83	0.013797	3.73	1.07
4.25714*	45.08	52.28	0.37	1.78	1.70	0.014689	3.81	1.10
4.12857*	36.3	52.28	0.27	1.69	1.57	0.015985	3.92	1.15
4	27.52	52.28	0.16	1.58	1.42	0.018105	4.09	1.22
3.75	22.93	52.28	0.11	1.53	1.33	0.019979	4.23	1.27
3.25	18.35	52.28	0.06	1.48	1.24	0.022620	4.42	1.35
3	13.76	52.28	0.01	1.43	1.12	0.026985	4.69	1.47
2.75	9.17	52.28	-0.05	1.20	1.02	0.020359	4.03	1.29
2.25	4.59	52.28	-0.10	1.02	0.94	0.015248	3.46	1.13
2	0	52.28	-0.15	0.85	0.88	0.010930	2.88	0.96

Tabella 26: Stato di progetto 1, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della

sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.2.3 Tr500 anni

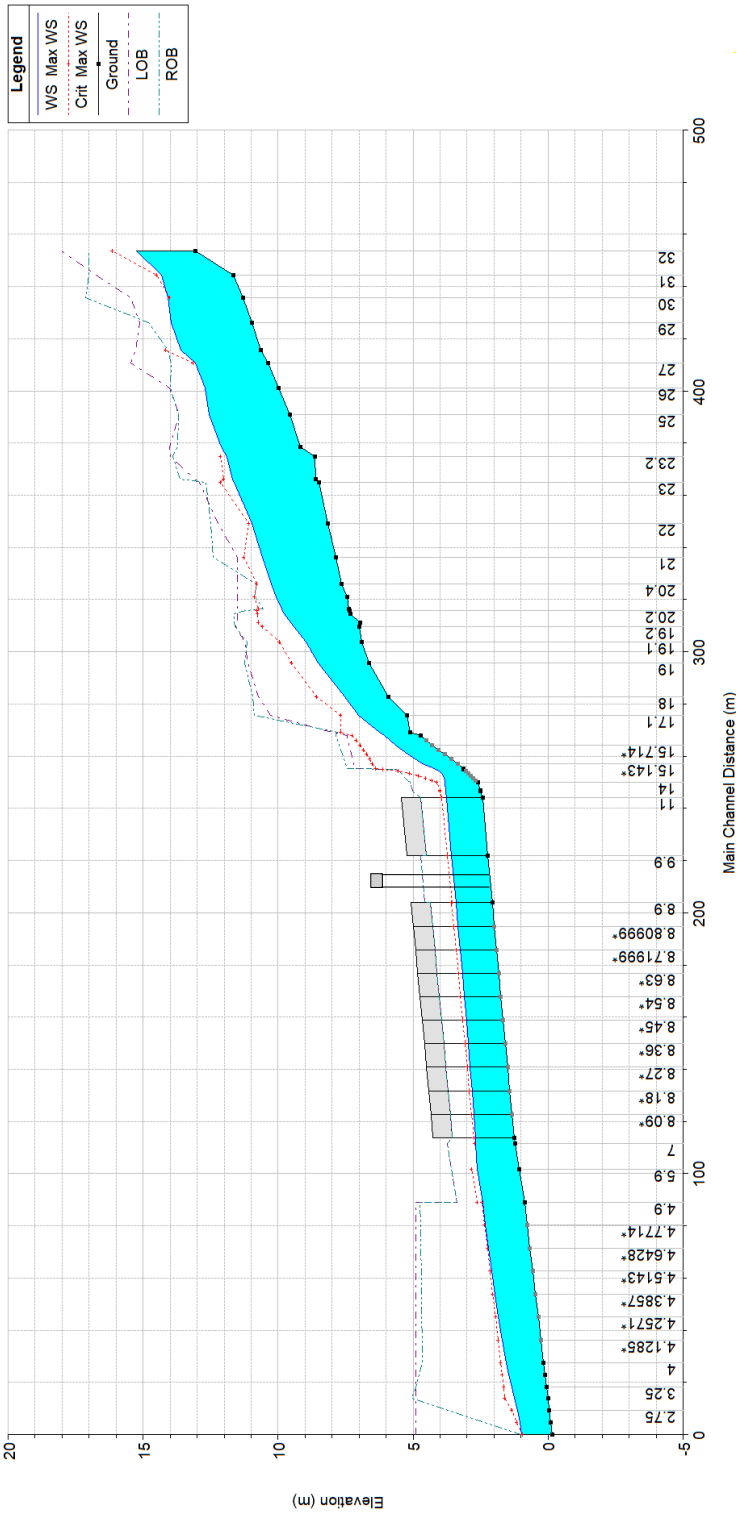


Figura 7.11 – Stato di progetto 1, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno 500 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.5	41.92	13.07	16.14	15.25	0.075525	7.75	2.13
31	444.5	41.92	11.67	14.50	14.31	0.020549	5.17	1.13
30	435.6	41.92	11.30	14.00	14.08	0.020257	4.84	0.96
29	426.1	41.92	10.98		13.97	0.016079	4.53	0.91
28	415.5	41.92	10.63	14.16	13.61	0.031707	6.45	1.33
27	410.8	41.92	10.38	13.14	13.07	0.021396	5.02	1.05
26	401.2	41.92	9.97		12.72	0.004898	3.22	0.65
25	390.9	41.92	9.55		12.55	0.005975	3.51	0.69
24	378.6	41.92	9.18		12.11	0.008835	4.34	0.89
23.2	374.8	41.92	8.63	12.13	11.88	0.017052	5.49	1.16
23.1	366.2	41.92	8.62	12.02	11.68	0.029428	6.13	1.19
23	364.93	41.92	8.49	12.13	11.61	0.036242	6.59	1.31
22	349.32	41.92	8.17	11.10	10.96	0.018986	5.42	1.08
21	336.15	41.92	7.85	11.27	10.59	0.038147	6.93	1.45
20.4	326.15	41.92	7.64	10.79	10.25	0.029441	6.55	1.37
20.3	321.15	41.92	7.43	10.87	10.08	0.038627	7.22	1.53
20.25	316.42	41.92	7.38	10.74	9.87	0.052042	7.54	1.65
20.2	315.82	41.92	7.35	10.78	9.84	0.050149	7.85	1.70
20.1	314.73	41.92	7.33	10.74	9.78	0.059516	7.92	1.75
20	311.32	41.92	6.97	10.73	9.54	0.078854	8.88	1.96
19.2	309.78	41.92	7.00	10.57	9.41	0.095113	8.80	2.03
19.1	303.78	41.92	6.91	9.95	8.98	0.047849	7.94	1.98
19	295.67	41.92	6.63	9.49	8.53	0.063786	7.98	2.00
18	282.89	41.92	5.92	8.59	7.53	0.092539	8.82	2.61
17.1	275.73	41.92	5.22	7.67	7.01	0.051763	6.60	1.94
17	269.22	41.92	5.11	7.69	6.24	0.188055	12.73	4.29
16	267.99	41.92	4.72	7.27	6.05	0.113461	9.84	2.88
15.857*	266.16	41.92	4.51	7.12	5.84	0.111658	10.15	2.95
15.714*	264.33	41.92	4.30	6.97	5.63	0.117649	10.53	3.04
15.571*	262.5	41.92	4.07	6.84	5.42	0.120085	11.03	3.18
15.429*	260.66	41.92	3.83	6.72	5.19	0.130723	11.72	3.39
15.286*	258.83	41.91	3.60	6.61	4.94	0.141405	12.71	3.71
15.143*	257	41.91	3.36	6.51	4.65	0.169225	14.31	4.28
15	255.16	41.29	3.12	6.39	4.21	0.307130	18.66	6.14
14.9	255.06	48.89	3.12	6.13	4.19	0.214874	15.36	4.75
14.750*	254.2	48.89	3.03	5.55	4.04	0.131010	12.50	3.99
14.600*	253.33	48.89	2.95	5.13	3.95	0.080105	10.19	3.26
14.450*	252.46	48.89	2.87	4.81	3.89	0.048654	8.32	2.62

14.300*	251.6	48.89	2.78	4.54	3.86	0.029706	6.83	2.10
14.150*	250.73	48.89	2.70	4.31	3.83	0.018489	5.66	1.69
14	249.86	48.89	2.61	4.11	3.82	0.011799	4.75	1.38
13	247.05	48.89	2.52	4.02	3.79	0.010219	4.53	1.28
12	246.56	48.89	2.51	4.00	3.79	0.009999	4.50	1.27
11	244.14	48.89	2.43	3.93	3.76	0.008837	4.32	1.19
10	221.94	48.89	2.23	3.73	3.57	0.008734	4.30	1.19
9.9	221.93	48.89	2.23	3.73	3.57	0.008736	4.30	1.19
9	203.84	48.89	2.07	3.57	3.41	0.008687	4.29	1.18
8.9	203.83	48.89	2.07	3.57	3.41	0.008686	4.29	1.18
8.80999*	194.82	48.88	1.99	3.49	3.33	0.008631	4.28	1.18
8.71999*	185.82	48.85	1.91	3.41	3.26	0.008547	4.27	1.17
8.63*	176.81	48.80	1.83	3.32	3.18	0.008444	4.25	1.17
8.54*	167.8	48.76	1.75	3.24	3.10	0.008326	4.23	1.16
8.45*	158.79	48.57	1.67	3.16	3.03	0.008141	4.19	1.15
8.36*	149.78	48.51	1.58	3.08	2.96	0.007970	4.16	1.13
8.27*	140.78	48.42	1.50	2.99	2.89	0.007762	4.12	1.12
8.18*	131.77	48.27	1.42	2.91	2.82	0.007513	4.07	1.10
8.09*	122.76	48.09	1.34	2.83	2.75	0.007232	4.02	1.08
8	113.75	47.77	1.26	2.74	2.69	0.006875	3.94	1.05
7	111.61	47.72	1.23	2.70	2.67	0.006639	3.89	1.04
6	101.59	46.67	1.07		2.61	0.005189	3.56	0.91
5.9	101.58	62.26	1.07	2.83	2.61	0.009232	4.75	1.22
5	88.98	62.25	0.87	2.63	2.43	0.020195	4.70	1.20
4.9	88.97	62.25	0.87	2.45	2.43	0.012391	3.79	1.03
4.77142*	80.19	62.25	0.77	2.35	2.32	0.012675	3.82	1.04
4.64285*	71.41	62.25	0.67	2.25	2.21	0.013071	3.86	1.05
4.51428*	62.63	62.25	0.57	2.15	2.09	0.013563	3.92	1.07
4.38571*	53.86	62.25	0.47	2.05	1.97	0.014217	3.98	1.09
4.25714*	45.08	62.25	0.37	1.95	1.84	0.015192	4.08	1.13
4.12857*	36.3	62.25	0.27	1.85	1.70	0.016620	4.21	1.18
4	27.52	62.25	0.16	1.75	1.55	0.018877	4.40	1.25
3.75	22.93	62.25	0.11	1.70	1.45	0.020852	4.55	1.31
3.25	18.35	62.25	0.06	1.65	1.35	0.023635	4.75	1.39
3	13.76	62.25	0.01	1.60	1.24	0.028148	5.04	1.51
2.75	9.17	62.25	-0.05	1.35	1.12	0.021110	4.33	1.33
2.25	4.59	62.25	-0.10	1.15	1.04	0.015755	3.72	1.16
2	0	62.25	-0.15	0.96	0.98	0.011213	3.08	0.98

Tabella 27: Stato di progetto 1, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

In riferimento allo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, il rio è in grado di smaltire la portata di progetto lungo l'intero tratto esaminato senza dar luogo a tracimazioni, mentre invece si registrano tracimazioni di modesta entità sia in destra che in sinistra per un evento con tempo di ritorno di 500 anni.

7.3.3 Stato Progetto - Scenario 2

Il tratto oggetto dell'analisi è stato implementato in un unico modello matematico, inserendo la geometria delle sezioni nella configurazione di progetto. Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione con il codice di calcolo Hec-Ras per ogni tempo di ritorno indagato.

7.3.3.1 Tr50 anni

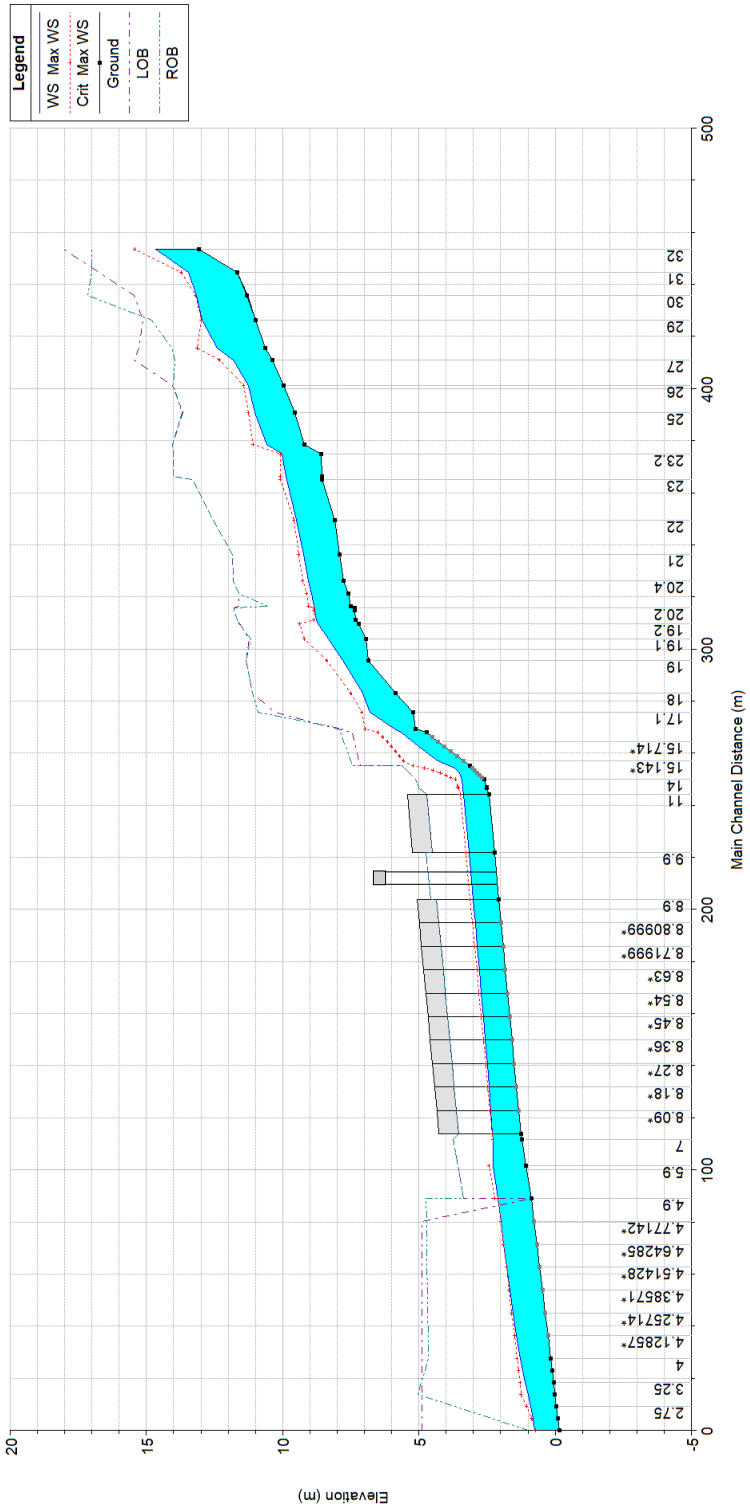


Figura 7.12 - Stato di progetto 2, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 50 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.51	23.35	13.07	15.41	14.66	0.128493	7.49	2.63
31	444.51	23.35	11.67	13.71	13.45	0.028172	4.76	1.31
30	435.61	23.35	11.30	13.18	13.15	0.020524	4.18	1.03
29	426.11	23.35	10.98	13.00	12.95	0.020958	4.14	1.04
28	415.51	23.35	10.63	13.12	12.39	0.057610	6.79	1.78
27	410.81	23.35	10.38	12.32	11.82	0.050089	5.80	1.69
26	401.21	23.35	9.97	11.45	11.24	0.019928	4.24	1.29
25	390.91	23.35	9.55	11.24	11.03	0.019850	4.40	1.25
24	378.61	23.35	9.20	11.07	10.57	0.045260	5.72	1.72
23.2	374.81	23.35	8.59	10.09	10.03	0.015545	4.00	1.07
23.1	366.21	23.35	8.57	10.07	9.87	0.020767	4.41	1.24
23	364.94	23.35	8.57	10.07	9.84	0.022212	4.51	1.29
22	349.33	23.35	8.09	9.59	9.48	0.016823	4.11	1.12
21	336.16	23.35	7.91	9.41	9.24	0.019475	4.31	1.20
20.4	326.16	23.35	7.75	9.25	9.04	0.021437	4.45	1.26
20.3	321.16	23.35	7.60	9.10	8.94	0.019273	4.30	1.19
20.25	316.43	23.35	7.50	9.06	8.84	0.021164	4.49	1.25
20.2	315.83	23.35	7.34	8.85	8.83	0.017046	3.88	1.02
20.1	314.74	23.35	7.34	8.85	8.81	0.017685	3.93	1.04
20	311.33	23.35	7.33	8.84	8.75	0.019692	4.08	1.10
19.2	309.79	23.35	7.21	9.39	8.69	0.053776	6.77	1.80
19.1	303.79	23.35	6.93	9.19	8.33	0.066794	7.53	2.15
19	295.68	23.35	6.86	8.37	7.78	0.069401	6.27	2.09
18	282.9	23.35	5.87	7.49	7.06	0.044487	5.39	1.69
17.1	275.74	23.35	5.22	7.08	6.79	0.030123	4.50	1.44
17	269.23	23.35	5.11	6.97	5.88	0.254523	11.54	4.78
16	268	23.35	4.72	6.50	5.65	0.118717	8.18	2.89
15.857*	266.16	23.35	4.51	6.32	5.44	0.116763	8.46	2.98
15.714*	264.33	23.35	4.30	6.16	5.22	0.122506	8.82	3.09
15.571*	262.5	23.35	4.07	6.00	5.00	0.118379	9.25	3.23
15.429*	260.67	23.35	3.83	5.85	4.78	0.124196	9.74	3.39
15.286*	258.83	23.35	3.60	5.70	4.55	0.127329	10.42	3.64
15.143*	257	23.34	3.36	5.57	4.31	0.139734	11.40	4.02
15	255.17	20.00	3.12	5.23	3.88	0.237986	13.93	5.60
14.9	255.07	28.53	3.12	5.22	3.85	0.211159	13.02	4.86
14.750*	254.2	28.53	3.03	4.79	3.70	0.150111	11.02	4.32
14.600*	253.33	28.53	2.95	4.47	3.59	0.103306	9.27	3.70
14.450*	252.47	28.53	2.87	4.22	3.52	0.065857	7.64	3.03

14.300*	251.6	28.53	2.78	4.01	3.47	0.039330	6.21	2.39
14.150*	250.73	28.53	2.70	3.82	3.44	0.022945	5.03	1.86
14	249.86	28.53	2.61	3.65	3.43	0.013495	4.11	1.45
13	247.05	28.53	2.52	3.56	3.39	0.011001	3.85	1.31
12	246.56	28.53	2.51	3.55	3.39	0.010662	3.81	1.29
11	244.14	28.53	2.43	3.48	3.36	0.008914	3.59	1.19
10	221.94	28.53	2.23	3.28	3.17	0.008789	3.58	1.18
9.9	221.93	28.53	2.23	3.27	3.17	0.008799	3.58	1.18
9	203.84	28.53	2.07	3.11	3.01	0.008746	3.57	1.18
8.9	203.83	28.53	2.07	3.12	3.01	0.008745	3.57	1.18
8.80999*	194.83	28.53	1.99	3.04	2.93	0.008675	3.56	1.17
8.71999*	185.82	28.53	1.91	2.96	2.85	0.008572	3.55	1.17
8.63*	176.81	28.53	1.83	2.87	2.78	0.008436	3.53	1.16
8.54*	167.8	28.53	1.75	2.79	2.70	0.008280	3.51	1.15
8.45*	158.79	28.53	1.67	2.71	2.63	0.008087	3.48	1.13
8.36*	149.79	28.53	1.58	2.63	2.56	0.007847	3.45	1.12
8.27*	140.78	28.53	1.50	2.55	2.49	0.007559	3.41	1.10
8.18*	131.77	28.53	1.42	2.47	2.42	0.007230	3.36	1.07
8.09*	122.76	28.53	1.34	2.39	2.36	0.006857	3.30	1.05
8	113.75	28.53	1.26	2.31	2.30	0.006433	3.23	1.01
7	111.61	28.53	1.23	2.27	2.29	0.006125	3.18	0.99
6	101.59	28.52	1.07		2.27	0.004151	2.80	0.82
5.9	101.58	41.60	1.07	2.41	2.27	0.008829	4.08	1.19
5	88.98	41.60	0.87	2.21	2.10	0.018531	3.99	1.15
4.9	88.97	41.60	0.87	2.09	2.10	0.010659	3.30	1.00
4.77142*	80.19	41.60	0.77	1.99	2.00	0.012173	3.30	1.00
4.64285*	71.42	41.60	0.67	1.89	1.89	0.012463	3.33	1.01
4.51428*	62.64	41.60	0.57	1.79	1.78	0.012841	3.37	1.02
4.38571*	53.86	41.60	0.47	1.69	1.66	0.013341	3.42	1.04
4.25714*	45.08	41.60	0.37	1.59	1.54	0.014123	3.48	1.07
4.12857*	36.3	41.60	0.27	1.49	1.42	0.015309	3.58	1.11
4	27.52	41.60	0.16	1.39	1.27	0.017265	3.73	1.17
3.75	22.93	41.60	0.11	1.34	1.19	0.019033	3.86	1.23
3.25	18.35	41.60	0.06	1.29	1.10	0.021619	4.03	1.30
3	13.76	41.60	0.01	1.24	0.99	0.026032	4.28	1.42
2.75	9.17	41.60	-0.05	1.03	0.88	0.019920	3.69	1.26
2.25	4.59	41.60	-0.10	0.86	0.81	0.015074	3.18	1.10
2		41.60	-0.15	0.71	0.75	0.010921	2.66	0.94

Tabella 28: Stato di progetto 2, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione;

Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.3.2 Tr200 anni

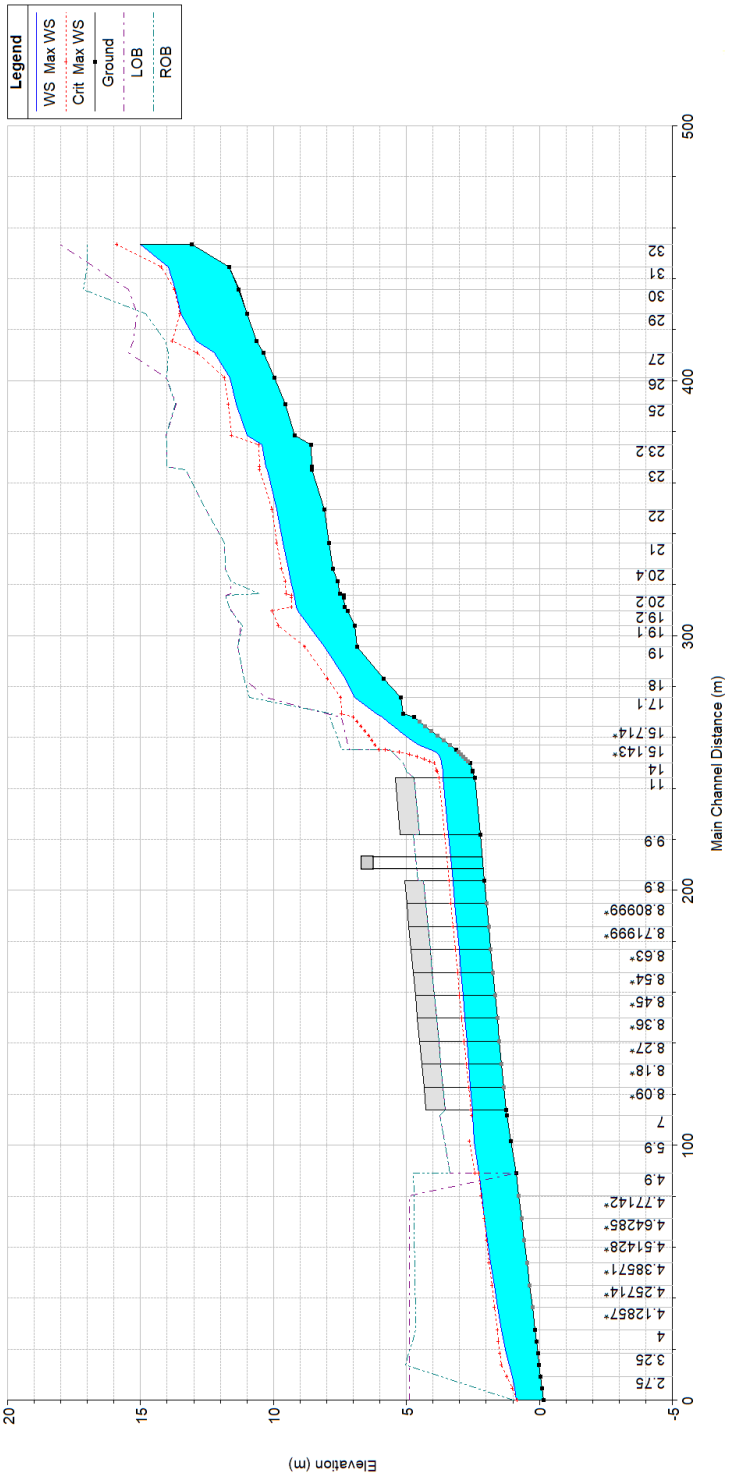


Figura 7.13 – Stato di progetto 2, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno 200 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.51	34.98	13.07	15.88	15.01	0.094420	7.83	2.35
31	444.51	34.98	11.67	14.22	13.96	0.024214	5.17	1.23
30	435.61	34.98	11.30	13.72	13.69	0.021731	4.75	1.02
29	426.11	34.98	10.98	13.52	13.48	0.020942	4.68	1.03
28	415.51	34.98	10.63	13.80	12.89	0.056380	7.57	1.76
27	410.81	34.98	10.38	12.86	12.23	0.048022	6.43	1.63
26	401.21	34.97	9.97	11.85	11.63	0.018019	4.71	1.24
25	390.91	34.97	9.55	11.70	11.41	0.020114	5.05	1.27
24	378.61	34.97	9.20	11.57	10.98	0.039211	6.24	1.63
23.2	374.81	34.97	8.59	10.55	10.43	0.016468	4.65	1.11
23.1	366.21	34.97	8.57	10.53	10.27	0.020448	5.01	1.24
23	364.94	34.97	8.57	10.53	10.24	0.021351	5.09	1.27
22	349.33	34.97	8.09	10.05	9.89	0.017312	4.74	1.14
21	336.16	34.97	7.91	9.87	9.65	0.019668	4.94	1.21
20.4	326.16	34.97	7.75	9.71	9.44	0.021041	5.06	1.25
20.3	321.16	34.97	7.60	9.56	9.34	0.019490	4.93	1.20
20.25	316.43	34.97	7.50	9.53	9.25	0.021481	5.15	1.26
20.2	315.83	34.97	7.34	9.32	9.23	0.019402	4.57	1.07
20.1	314.74	34.97	7.34	9.32	9.21	0.020041	4.62	1.08
20	311.33	34.97	7.33	9.31	9.14	0.022026	4.78	1.14
19.2	309.79	34.97	7.21	10.05	9.08	0.061997	7.99	1.91
19.1	303.79	34.97	6.93	9.83	8.66	0.076425	8.88	2.31
19	295.68	34.97	6.86	8.83	8.08	0.067924	7.09	2.07
18	282.9	34.97	5.87	7.96	7.29	0.055830	6.63	1.88
17.1	275.74	34.97	5.22	7.47	6.93	0.045386	5.93	1.80
17	269.23	34.97	5.11	7.44	6.11	0.207750	12.37	4.49
16	268	34.97	4.72	7.00	5.91	0.115208	9.31	2.89
15.857*	266.16	34.97	4.51	6.84	5.70	0.113191	9.60	2.96
15.714*	264.33	34.97	4.30	6.69	5.49	0.119091	9.97	3.06
15.571*	262.5	34.97	4.07	6.55	5.27	0.118993	10.45	3.20
15.429*	260.67	34.97	3.83	6.42	5.04	0.128106	11.07	3.39
15.286*	258.83	34.97	3.60	6.29	4.80	0.136730	11.97	3.69
15.143*	257	34.97	3.36	6.18	4.53	0.160706	13.39	4.22
15	255.17	34.29	3.12	6.04	4.08	0.314423	17.92	6.30
14.9	255.07	40.90	3.12	5.79	4.06	0.215363	14.61	4.82
14.750*	254.2	40.90	3.03	5.26	3.91	0.138048	12.04	4.12
14.600*	253.33	40.90	2.95	4.89	3.81	0.087200	9.89	3.41
14.450*	252.47	40.90	2.87	4.59	3.75	0.053473	8.09	2.75

14.300*	251.6	40.90	2.78	4.34	3.71	0.032361	6.61	2.19
14.150*	250.73	40.90	2.70	4.13	3.69	0.019762	5.44	1.75
14	249.86	40.90	2.61	3.94	3.67	0.012317	4.53	1.40
13	247.05	40.90	2.52	3.85	3.64	0.010470	4.29	1.30
12	246.56	40.90	2.51	3.83	3.64	0.010222	4.26	1.28
11	244.14	40.90	2.43	3.76	3.61	0.008880	4.07	1.19
10	221.94	40.90	2.23	3.56	3.42	0.008790	4.06	1.19
9.9	221.93	40.90	2.23	3.56	3.42	0.008790	4.06	1.19
9	203.84	40.90	2.07	3.40	3.26	0.008755	4.05	1.19
8.9	203.83	40.90	2.07	3.40	3.26	0.008754	4.05	1.19
8.80999*	194.83	40.89	1.99	3.32	3.18	0.008705	4.04	1.18
8.71999*	185.82	40.89	1.91	3.24	3.10	0.008635	4.03	1.18
8.63*	176.81	40.88	1.83	3.16	3.02	0.008545	4.02	1.17
8.54*	167.8	40.87	1.75	3.08	2.95	0.008441	4.00	1.17
8.45*	158.79	40.84	1.67	3.00	2.87	0.008322	3.98	1.16
8.36*	149.79	40.82	1.58	2.92	2.80	0.008169	3.96	1.15
8.27*	140.78	40.48	1.50	2.83	2.73	0.007850	3.89	1.12
8.18*	131.77	40.43	1.42	2.74	2.66	0.007615	3.85	1.11
8.09*	122.76	40.37	1.34	2.66	2.59	0.007350	3.81	1.09
8	113.75	39.52	1.26	2.56	2.53	0.006758	3.68	1.04
7	111.61	39.47	1.23	2.53	2.51	0.006490	3.63	1.02
6	101.59	39.30	1.07		2.45	0.005108	3.34	0.91
5.9	101.58	52.36	1.07	2.64	2.45	0.009069	4.46	1.21
5	88.98	52.36	0.87	2.44	2.27	0.019551	4.39	1.18
4.9	88.97	52.36	0.87	2.28	2.27	0.010683	3.58	1.02
4.77142*	80.19	52.36	0.77	2.18	2.17	0.012429	3.59	1.02
4.64285*	71.42	52.36	0.67	2.09	2.06	0.012792	3.63	1.03
4.51428*	62.64	52.36	0.57	1.99	1.95	0.013227	3.67	1.05
4.38571*	53.86	52.36	0.47	1.89	1.83	0.013820	3.73	1.07
4.25714*	45.08	52.36	0.37	1.79	1.70	0.014714	3.81	1.10
4.12857*	36.3	52.36	0.27	1.69	1.57	0.016036	3.93	1.15
4	27.52	52.36	0.16	1.59	1.42	0.018191	4.10	1.22
3.75	22.93	52.36	0.11	1.54	1.33	0.020075	4.24	1.28
3.25	18.35	52.36	0.06	1.48	1.24	0.022768	4.43	1.35
3	13.76	52.36	0.01	1.44	1.12	0.027238	4.71	1.47
2.75	9.17	52.36	-0.05	1.21	1.01	0.020617	4.05	1.30
2.25	4.59	52.36	-0.10	1.02	0.93	0.015477	3.48	1.14
2		52.36	-0.15	0.85	0.87	0.011097	2.90	0.97

Tabella 29: Stato di progetto 2, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della

sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

7.3.3.3 Tr500 anni

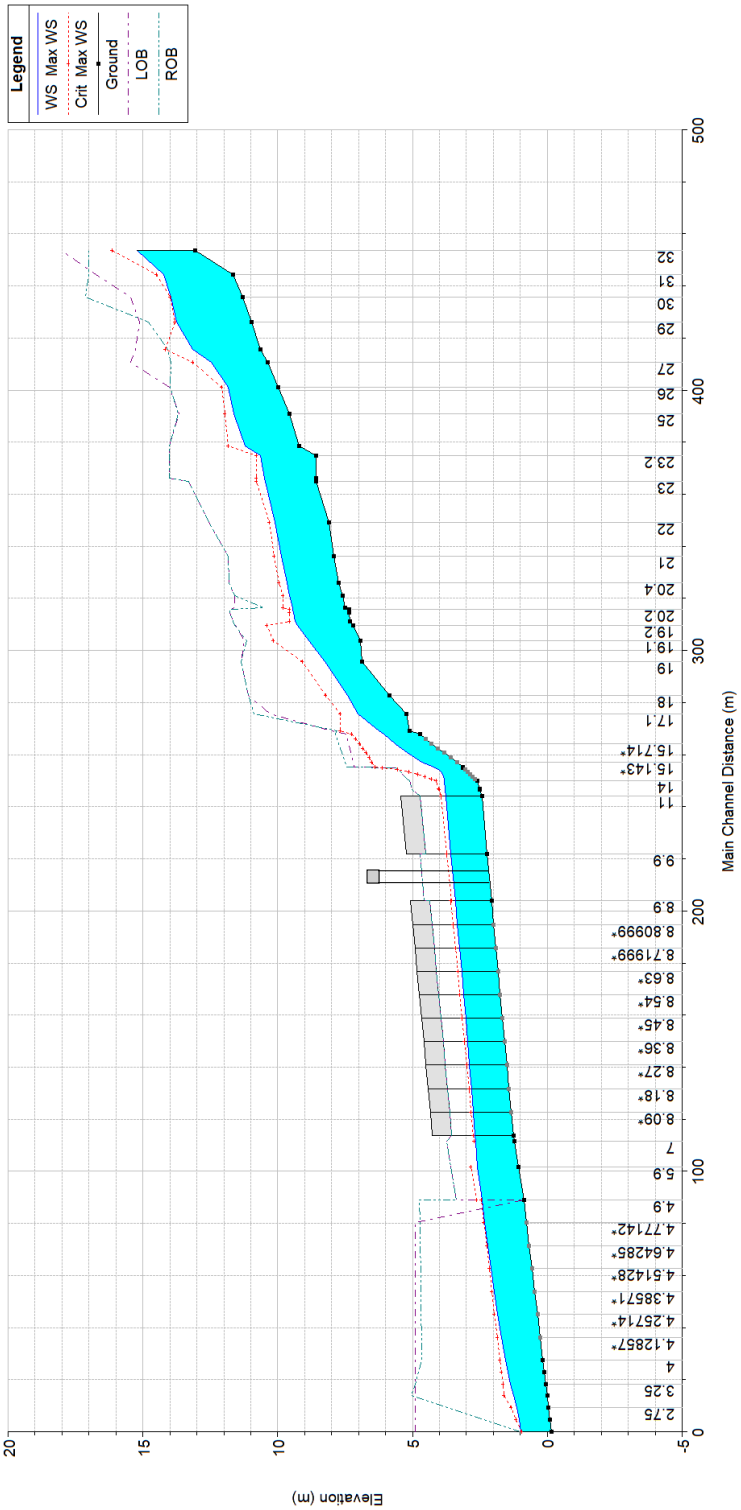


Figura 7.14 – Stato di progetto 2, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno 500 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m³/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
32	453.51	41.92	13.07	16.14	15.22	0.081246	7.94	2.21
31	444.51	41.92	11.67	14.50	14.23	0.022982	5.38	1.19
30	435.61	41.92	11.30	14.00	13.97	0.022573	5.04	1.02
29	426.11	41.92	10.98	13.81	13.75	0.020841	4.95	1.03
28	415.51	41.92	10.63	14.16	13.15	0.055578	7.92	1.76
27	410.81	41.92	10.38	13.14	12.47	0.047198	6.72	1.60
26	401.21	41.92	9.97	12.07	11.84	0.017163	4.93	1.22
25	390.91	41.92	9.55	11.94	11.63	0.019986	5.34	1.27
24	378.61	41.92	9.20	11.84	11.20	0.037211	6.51	1.59
23.2	374.81	41.92	8.59	10.80	10.65	0.016884	4.97	1.12
23.1	366.21	41.92	8.57	10.78	10.49	0.020401	5.31	1.24
23	364.94	41.92	8.57	10.78	10.46	0.021097	5.37	1.27
22	349.33	41.92	8.09	10.30	10.11	0.017590	5.04	1.15
21	336.16	41.92	7.91	10.12	9.86	0.019882	5.26	1.21
20.4	326.16	41.92	7.75	9.96	9.66	0.021105	5.37	1.26
20.3	321.16	41.92	7.60	9.81	9.56	0.019801	5.25	1.21
20.25	316.43	41.92	7.50	9.79	9.46	0.021885	5.48	1.27
20.2	315.83	41.92	7.34	9.57	9.44	0.020717	4.92	1.09
20.1	314.74	41.92	7.34	9.57	9.42	0.021358	4.98	1.11
20	311.33	41.92	7.33	9.56	9.35	0.023379	5.14	1.16
19.2	309.79	41.92	7.21	10.40	9.28	0.066374	8.61	1.96
19.1	303.79	41.92	6.93	10.16	8.84	0.080525	9.52	2.37
19	295.68	41.92	6.86	9.08	8.24	0.068145	7.51	2.06
18	282.9	41.92	5.87	8.20	7.41	0.060783	7.22	1.96
17.1	275.74	41.92	5.22	7.67	7.01	0.051653	6.59	1.94
17	269.23	41.92	5.11	7.69	6.24	0.188062	12.73	4.29
16	268	41.92	4.72	7.27	6.05	0.113464	9.84	2.88
15.857*	266.16	41.92	4.51	7.12	5.84	0.111656	10.15	2.95
15.714*	264.33	41.92	4.30	6.97	5.63	0.117645	10.53	3.04
15.571*	262.5	41.92	4.07	6.84	5.42	0.120090	11.03	3.18
15.429*	260.67	41.92	3.83	6.72	5.19	0.130643	11.72	3.39
15.286*	258.83	41.92	3.60	6.61	4.94	0.141418	12.72	3.71
15.143*	257	41.91	3.36	6.51	4.65	0.169147	14.30	4.28
15	255.17	41.31	3.12	6.39	4.21	0.307164	18.66	6.14
14.9	255.07	48.92	3.12	6.13	4.19	0.214922	15.36	4.75
14.750*	254.2	48.92	3.03	5.55	4.04	0.131031	12.51	3.99
14.600*	253.33	48.92	2.95	5.13	3.95	0.080115	10.19	3.26
14.450*	252.47	48.92	2.87	4.81	3.89	0.048660	8.32	2.62
14.300*	251.6	48.92	2.78	4.54	3.86	0.029711	6.83	2.10

14.150*	250.73	48.92	2.70	4.31	3.83	0.018508	5.66	1.69
14	249.86	48.92	2.61	4.11	3.82	0.011811	4.75	1.38
13	247.05	48.92	2.52	4.02	3.79	0.010222	4.53	1.28
12	246.56	48.92	2.51	4.00	3.79	0.010002	4.50	1.27
11	244.14	48.92	2.43	3.93	3.76	0.008840	4.32	1.19
10	221.94	48.91	2.23	3.73	3.57	0.008743	4.30	1.19
9.9	221.93	48.92	2.23	3.73	3.57	0.008751	4.30	1.19
9	203.84	48.91	2.07	3.57	3.41	0.008702	4.29	1.18
8.9	203.83	48.91	2.07	3.57	3.41	0.008700	4.29	1.18
8.80999*	194.83	48.91	1.99	3.49	3.33	0.008651	4.29	1.18
8.71999*	185.82	48.86	1.91	3.41	3.25	0.008563	4.27	1.18
8.63*	176.81	48.82	1.83	3.33	3.18	0.008469	4.25	1.17
8.54*	167.8	48.79	1.75	3.24	3.10	0.008354	4.23	1.16
8.45*	158.79	48.60	1.67	3.16	3.03	0.008173	4.20	1.15
8.36*	149.79	48.54	1.58	3.08	2.96	0.008009	4.17	1.14
8.27*	140.78	48.45	1.50	3.00	2.88	0.007809	4.13	1.12
8.18*	131.77	48.30	1.42	2.91	2.81	0.007562	4.08	1.10
8.09*	122.76	48.10	1.34	2.82	2.75	0.007279	4.02	1.08
8	113.75	47.80	1.26	2.74	2.68	0.006928	3.95	1.06
7	111.61	47.76	1.23	2.70	2.67	0.006696	3.90	1.04
6	101.59	46.69	1.07		2.61	0.005229	3.57	0.92
5.9	101.58	62.33	1.07	2.83	2.61	0.009319	4.76	1.23
5	88.98	62.33	0.87	2.63	2.42	0.020480	4.73	1.21
4.9	88.97	62.33	0.87	2.45	2.42	0.010731	3.81	1.03
4.77142*	80.19	62.33	0.77	2.35	2.32	0.012663	3.82	1.04
4.64285*	71.42	62.33	0.67	2.25	2.21	0.013058	3.86	1.05
4.51428*	62.64	62.32	0.57	2.15	2.09	0.013550	3.92	1.07
4.38571*	53.86	62.32	0.47	2.05	1.97	0.014203	3.98	1.09
4.25714*	45.08	62.32	0.37	1.95	1.84	0.015165	4.08	1.13
4.12857*	36.3	62.32	0.27	1.85	1.70	0.016555	4.20	1.18
4	27.52	62.32	0.16	1.75	1.55	0.018784	4.39	1.25
3.75	22.93	62.32	0.11	1.70	1.46	0.020700	4.54	1.31
3.25	18.35	62.32	0.06	1.65	1.36	0.023436	4.74	1.38
3	13.76	62.32	0.01	1.60	1.24	0.027829	5.03	1.50
2.75	9.17	62.32	-0.05	1.35	1.13	0.020748	4.31	1.32
2.25	4.59	62.32	-0.10	1.15	1.05	0.015404	3.69	1.15
2		62.32	-0.15	0.96	0.99	0.010935	3.06	0.97

Tabella 30: Stato di progetto 2, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR500 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

In riferimento allo scenario con tempo di ritorno di 200 anni, il rio è in grado di smaltire la portata di progetto lungo l'intero tratto esaminato senza dar luogo a tracimazioni, mentre invece si registrano tracimazioni di modesta entità sia in destra che in sinistra per un evento con tempo di ritorno di 500 anni.

7.3.4 Stato Progetto - Scenario 3

Il tratto oggetto dell'analisi è stato implementato in un unico modello matematico, inserendo la geometria delle sezioni dello stato attuale sino alla sezione 130 e della configurazione di progetto a partire dalla 129 sino a mare. Si riportano di seguito il profilo del campo di moto e i risultati della simulazione con il codice di calcolo Hec-Ras per i tempi di ritorno indagati (50 e 200 anni).

7.3.4.1 Tr50 anni

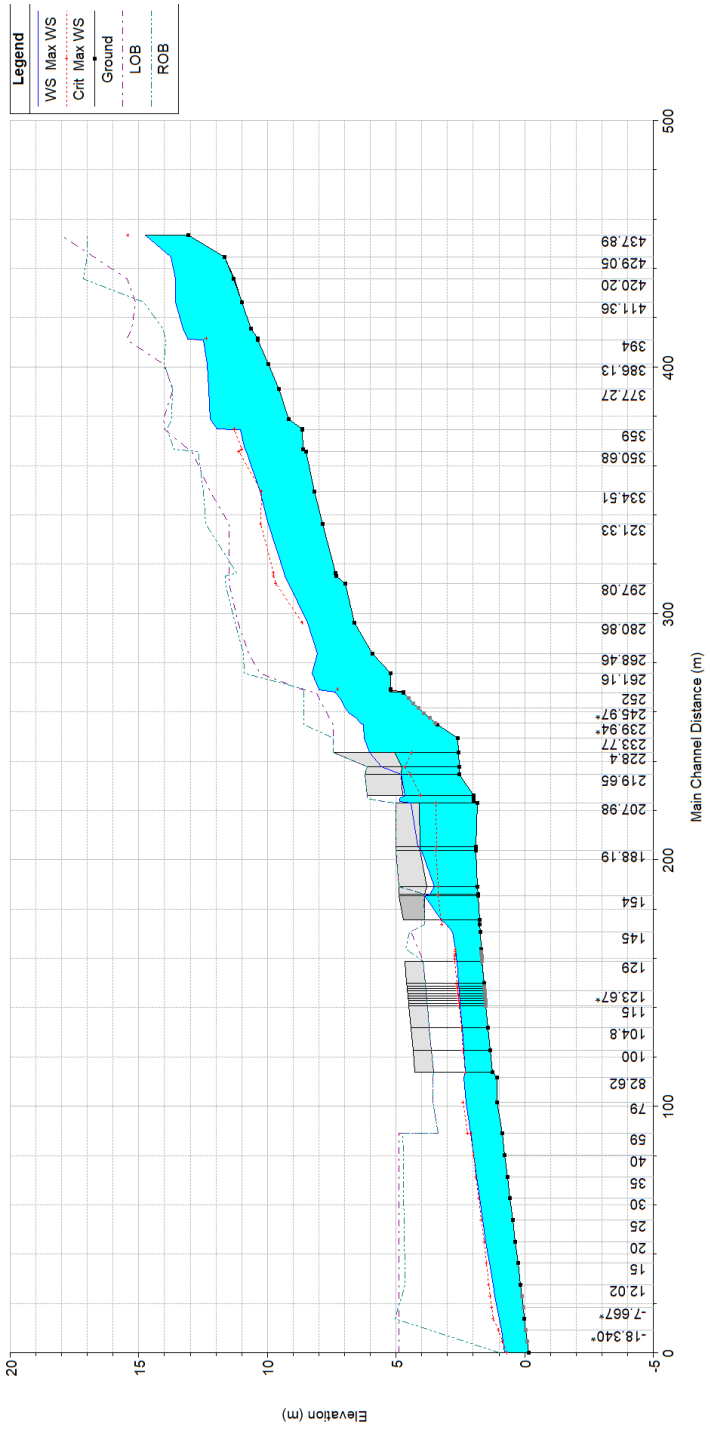


Figura 7.15 – Stato di progetto 3, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 50 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m3/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
437.89	453.61	23.35	13.07	15.42	14.75	0.095381	6.81	2.3
429.05	444.61	22.51	11.67		13.76	0.014038	3.73	0.93
420.2	435.71	22.64	11.3		13.56	0.010706	3.27	0.72
411.36	426.21	23.03	10.98		13.56	0.008049	2.96	0.64
402.95	415.61	23.38	10.63		13.29	0.014525	4.14	0.9
394.54	411.51	24.42	10.38	12.37	13.11	0.006939	2.87	0.6
394	410.91	24.38	10.38		12.49	0.015377	3.86	0.91
386.13	401.31	25.15	9.97		12.34	0.00283	2.27	0.5
377.27	391.01	24.9	9.55		12.3	0.002806	2.31	0.47
368.41	378.71	24.08	9.18		12.21	0.002585	2.38	0.48
359.54	374.91	23.82	8.63	11.27	11.97	0.004954	3	0.62
359	374.41	23.82	8.63	11.27	11.04	0.018581	4.85	1.23
352	366.61	23.64	8.62	11.01	10.87	0.024087	4.89	1.1
350.68	365.61	23.64	8.49	11.11	10.82	0.030582	5.3	1.23
334.51	349.41	23.55	8.17	10.22	10.29	0.01385	4.12	0.95
321.33	336.31	23.51	7.85	10.27	9.96	0.027831	5.28	1.26
313.25	316.31	23.49	7.35	9.76	9.35	0.031133	5.65	1.38
305.16	315.21	23.48	7.33	9.75	9.31	0.037835	5.7	1.42
297.08	312.21	23.48	6.97	9.67	9.17	0.042315	6.04	1.46
280.86	296.21	23.48	6.63	8.65	8.43	0.023955	4.75	1.22
268.46	283.61	23.44	5.92		8.05	0.009457	3.4	0.84
261.16	275.81	23.47	5.22		8.27	0.00169	1.76	0.37
253.85	269.41	23.13	5.2	7.26	8	0.008957	2.77	0.6
252	267.61	19.98	4.72		7.35	0.007857	2.54	0.54
239.14	254.8	31.37	3.38		6.28	0.03025	4.53	0.9
233.77	249.3	31.81	2.61		6.25	0.004757	2.29	0.38
228.4	243.7	30.47	2.56	4.4	6.04	0.006871	3.14	0.54
222.65	237.8	28.41	2.55	4.66	5.57	0.016397	4.3	0.79
219.65	234.7	26.03	2.54	4.44	4.8	0.022726	4.88	1.04
210.9	226.1	30.37	1.99	4.05	4.64	0.006931	3.45	0.68
209.4	224.8	29.93	1.99		4.85	0.001977	2.35	0.44
208.5	223.6	29.03	1.99		4.87	0.001824	2.26	0.43
207.98	223	28.77	1.85	3.45	4.43	0.009603	3.5	0.7
188.69	205.4	28.86	1.9	3.43	4.15	0.009901	3.5	0.75
188.19	203.7	28.84	1.9	3.44	4.02	0.011544	3.76	0.83
162.5	189.2	28.81	1.85	3.35	3.5	0.014019	4.37	1.08
161.5	186	28.8	1.82	3.37	3.69	0.004486	3.15	0.75
148	173.9	28.2	1.75	3.23	3.04	0.029074	4.38	1.23
145	170.6	27.68	1.72		2.8	0.009884	2.55	0.87

136.36	163.8	29.39	1.69	2.7	2.69	0.014067	2.93	1.02
129	158.79	28.61	1.67	2.72	2.64	0.007916	3.46	1.12
128	149.79	28.45	1.58	2.63	2.57	0.007551	3.4	1.1
115	140.78	28.38	1.5	2.55	2.5	0.007169	3.34	1.07
104.8	131.77	28.27	1.42	2.46	2.43	0.006828	3.29	1.04
100	122.76	28.23	1.34	2.38	2.38	0.006385	3.21	1.01
99	113.75	28.21	1.26	2.3	2.32	0.005909	3.13	0.97
82.62	111.61	28.19	1.07		2.36	0.003263	2.58	0.73
80	101.59	28.16	1.07		2.27	0.004032	2.76	0.81
79	101.58	41.24	1.07	2.41	2.27	0.008643	4.04	1.18
60	88.98	41.23	0.87	2.21	2.09	0.018452	3.97	1.15
59	88.97	41.23	0.87	2.08	2.09	0.012129	3.29	1
40	80.19	41.22	0.77	1.98	1.98	0.012359	3.31	1
35	71.41	41.21	0.67	1.88	1.87	0.012725	3.35	1.02
30	62.63	41.2	0.57	1.78	1.76	0.013197	3.39	1.03
25	53.86	41.18	0.47	1.68	1.64	0.013842	3.45	1.06
20	45.08	41.17	0.37	1.58	1.52	0.014922	3.54	1.1
15	36.3	41.17	0.27	1.48	1.38	0.016656	3.67	1.15
12.02	27.52	41.17	0.16	1.38	1.23	0.019174	3.85	1.23
2.177*	22.93	41.17	0.11	1.33	1.16	0.020651	3.95	1.28
-7.667*	18.35	41.17	0.06	1.28	1.08	0.022397	4.06	1.33
-17.51	13.76	41.17	0.01	1.23	0.99	0.025219	4.22	1.4
-18.340*	9.17	41.17	-0.05	1.03	0.91	0.017905	3.56	1.2
-19.170*	4.59	41.17	-0.1	0.86	0.84	0.013102	3.03	1.03
-20		41.17	-0.15	0.71	0.79	0.009163	2.51	0.87

Tabella 31: Stato di progetto 3, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR50 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

Nella seguente tabella si riporta un confronto le quote della superficie libera dello scenario 3 e dello stato attuale, da cui emerge:

- una significativa e preventivabile differenza nel campo di moto nel tratto a valle della tombinatura esistente dove si è proceduto, nello scenario di progetto, alla riprofilatura del corso d'acqua
- una riduzione del pelo libero (scenario 3) all'interno della tombinatura esistente (sez. 148-228.4) indotto dal cambio di regime idraulico all'interno della tombinatura, di tipo subcritico nello scenario attuale e supercritico in quello di progetto
- modeste variazioni del pelo libero nel tratto d'alveo a cielo aperto a monte della via Aurelia.

River Station [num]	W.S. Elev scenario 3 [m s.l.m.]	W.S. Elev stato attuale [m s.l.m.]	ΔWSE SP3-SA
437.89	14.75	14.73	0.02
429.05	13.76	13.7	0.06
420.2	13.56	13.5	0.06
411.36	13.56	13.56	0
402.95	13.29	13.29	0
394.54	13.11	13.1	0.01
394	12.49	12.48	0.01
386.13	12.34	12.33	0.01
377.27	12.3	12.29	0.01
368.41	12.21	12.22	-0.01
359.54	11.97	11.97	0
359	11.04	11.04	0
352	10.87	10.87	0
350.68	10.82	10.82	0
334.51	10.29	10.29	0
321.33	9.96	9.96	0
313.25	9.35	9.35	0
305.16	9.31	9.31	0
297.08	9.17	9.17	0
280.86	8.43	8.43	0
268.46	8.05	8.05	0
261.16	8.27	8.26	0.01
253.85	8	7.99	0.01
252	7.35	7.31	0.04
239.14	6.28	6.12	0.16
233.77	6.25	6.44	-0.19
228.4	6.04	6.1	-0.06
222.65	5.57	5.49	0.08
219.65	4.8	4.87	-0.07
210.9	4.64	5.13	-0.49
209.4	4.85	5.35	-0.5
208.5	4.87	5.34	-0.47
207.98	4.43	4.82	-0.39
188.69	4.15	4.65	-0.5
188.19	4.02	4.53	-0.51
162.5	3.5	4.17	-0.67
161.5	3.69	4.34	-0.65

148	3.04	4.28	-1.24
145	2.8	4.37	-1.57
130	2.69	4.21	-1.52
129	2.64		
128	2.57		
115	2.5	4.04	-1.54
104.8	2.43	3.9	-1.47
100	2.38		
99	2.32		
82.62	2.36	3.75	-1.39
80	2.27		
79	2.27		
60	2.09	3.66	-1.57
59	2.09		
40	1.98		
35	1.87		
30	1.76		
25	1.64		
20	1.52		
15	1.38		
12.02	1.23	3.29	-2.06
	1.16		
	1.08		
-17.51	0.99	3.28	-2.29
-20	0.91		

Tabella 32: Confronto tra la quota della superficie libera raggiunta nello scenario stato di progetto 3 e stato attuale. WS Elev SP3= quota del pelo libero nello scenario di progetto 3; WSElev SA=quota del pelo libero nello stato attuale; ΔWS Elev= differenza tra la quota del pelo libero raggiunta nello scenario di progetto 3 e lo stato attuale

7.3.4.2 Tr200 anni

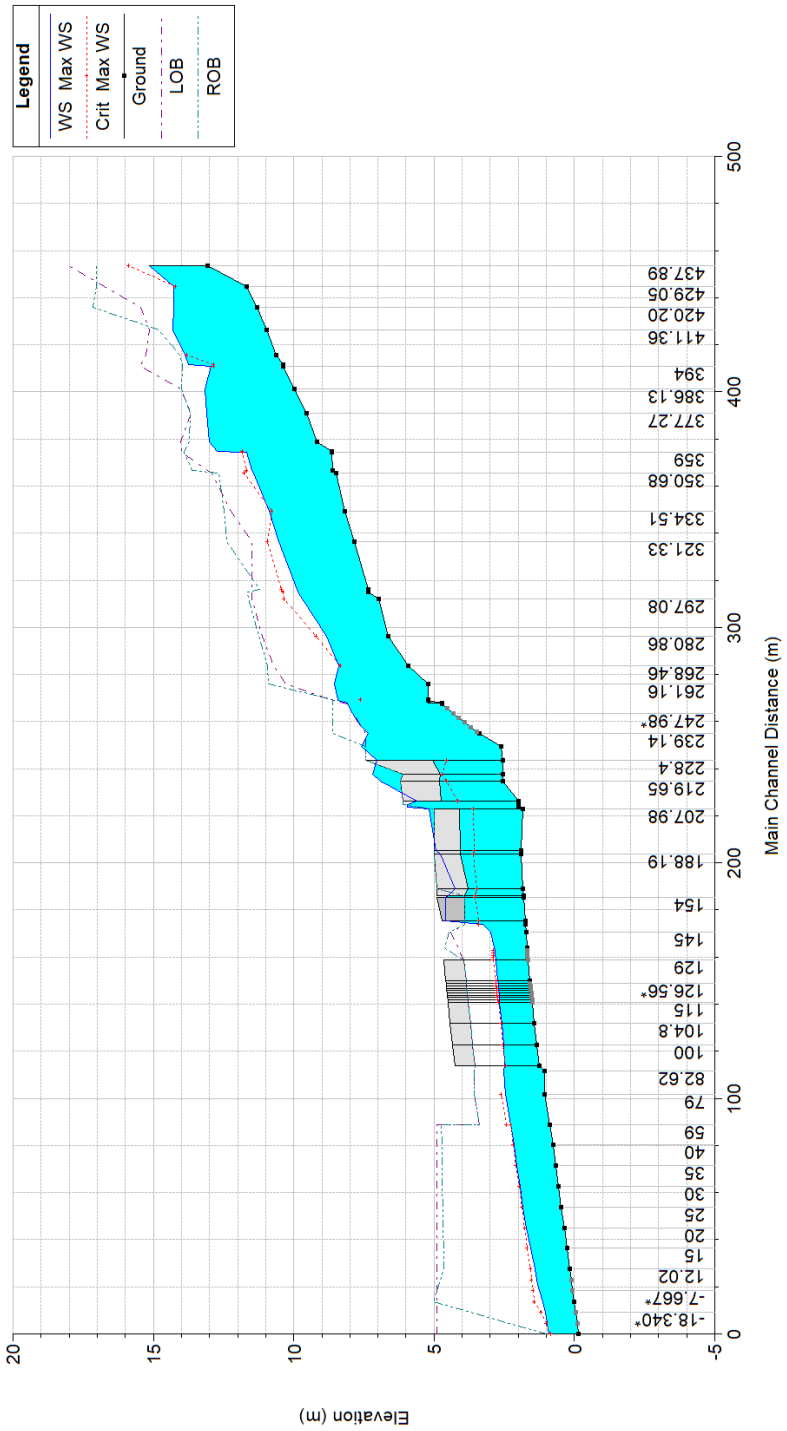


Figura 7.16 – Stato di progetto 3, andamento del pelo libero e profilo arginale nel tratto in esame. WS=quota superficie libera per tempo di ritorno di 200 anni; Crit= quota del livello critico; LOB=quota della sponda sinistra; ROB=quota della sponda destra.

River Station [num]	Cum Ch Len [m]	Q [m3/s]	Min Ch El [m s.l.m.]	Crit W.S. [m s.l.m.]	W.S. Elev [m s.l.m.]	E.G. Slope [m/m]	Vel Chnl [m/s]	Froude
437.89	453.6	34.98	13.07	15.88	15.14	0.068983	7.07	2.02
429.05	444.6	34.98	11.67	14.22	14.29	0.014817	4.37	0.96
420.2	435.7	34.97	11.3		14.28	0.011627	3.75	0.72
411.36	426.2	34.98	10.98		14.3	0.007874	3.34	0.64
402.95	415.6	35.01	10.63	13.8	13.89	0.016391	4.82	0.96
394.54	411.5	35.02	10.38	12.86	13.76	0.007473	3.22	0.6
394	410.9	35.02	10.38	12.86	12.94	0.017345	4.43	0.95
386.13	401.3	35.01	9.97		13.17	0.002133	2.28	0.43
377.27	391	35.01	9.55		13.1	0.002415	2.41	0.44
368.41	378.7	35.01	9.18		13.02	0.002564	2.62	0.47
359.54	374.9	35.01	8.63	11.83	12.72	0.005109	3.34	0.61
359	374.4	35.01	8.63	11.83	11.67	0.015421	5.04	1.11
352	366.6	35	8.62	11.67	11.49	0.025002	5.51	1.1
350.68	365.6	35	8.49	11.77	11.44	0.030425	5.9	1.21
334.51	349.4	35	8.17	10.79	10.88	0.014512	4.68	0.95
321.33	336.3	35	7.85	10.92	10.53	0.028506	5.94	1.26
313.25	316.3	35	7.35	10.43	9.89	0.032879	6.41	1.37
305.16	315.2	35	7.33	10.38	9.85	0.037855	6.4	1.39
297.08	312.2	35	6.97	10.36	9.68	0.045833	6.94	1.48
280.86	296.2	35	6.63	9.2	8.84	0.026445	5.57	1.28
268.46	283.6	35	5.92	8.33	8.4	0.012018	4.19	0.96
261.16	275.8	35	5.22		8.57	0.002638	2.32	0.46
253.85	269.4	30.19	5.2	7.61	8.43	0.009415	2.99	0.61
252	267.6	25.96	4.72		8.09	0.006237	2.45	0.47
239.14	254.8	35.49	3.38		7.33	0.016592	3.62	0.62
233.77	249.3	35.24	2.61		7.6	0.003958	1.85	0.26
228.4	243.7	34.39	2.56	4.56	7.03	0.008754	3.54	0.53
222.65	237.8	29.78	2.55	4.73	7.18	0.006868	3.06	0.45
219.65	234.7	29.78	2.54	4.55	6.91	0.015109	4.09	0.62
210.9	226.1	34.39	1.99	4.15	5.62	0.010216	3.88	0.65
209.4	224.8	34.39	1.99		5.95	0.001142	1.95	0.31
208.5	223.6	34.18	1.99		5.95	0.001126	1.93	0.31
207.98	223	33.87	1.85	3.6	5.17	0.015312	3.77	0.66
188.69	205.4	33.87	1.9	3.57	4.93	0.013639	4.11	0.75
188.19	203.7	33.87	1.9	3.59	4.76	0.016643	4.41	0.83
162.5	189.2	33.87	1.85	3.48	4.24	0.022275	4.87	1.01
161.5	186	33.87	1.82	3.53	4.49	0.008218	3.32	0.65

148	173.9	33.86	1.75	3.42	3.25	0.027362	4.53	1.18
145	170.6	34.34	1.72		2.98	0.008596	2.6	0.82
136.36	158.8	33.09	1.69		2.86	0.010225	2.73	0.89
129	158.79	36.72	1.67	2.91	2.8	0.008209	3.82	1.15
128	149.78	35.89	1.58	2.8	2.73	0.007636	3.7	1.11
115	140.78	35.69	1.5	2.72	2.66	0.007279	3.64	1.08
104.8	131.77	35.03	1.42	2.62	2.59	0.006785	3.53	1.04
100	122.76	34.93	1.34	2.54	2.53	0.00638	3.46	1.01
99	113.75	34.75	1.26	2.45	2.47	0.005915	3.37	0.98
82.62	111.61	32.55	1.07		2.52	0.003018	2.63	0.7
80	101.59	32.56	1.07		2.45	0.00351	2.77	0.75
79	101.58	51.69	1.07	2.62	2.45	0.008842	4.4	1.19
60	88.98	51.63	0.87	2.42	2.27	0.019154	4.34	1.17
59	88.97	51.63	0.87	2.27	2.27	0.012144	3.54	1.01
40	80.19	51.61	0.77	2.17	2.16	0.012354	3.56	1.01
35	71.41	51.59	0.67	2.07	2.05	0.012682	3.6	1.03
30	62.63	51.59	0.57	1.97	1.94	0.013084	3.64	1.04
25	53.86	51.58	0.47	1.87	1.82	0.013618	3.69	1.06
20	45.08	51.57	0.37	1.77	1.7	0.014423	3.77	1.09
15	36.3	51.57	0.27	1.67	1.57	0.015588	3.87	1.13
12.02	27.52	51.56	0.16	1.57	1.42	0.01788	4.06	1.21
2.177*	22.93	51.56	0.11	1.52	1.33	0.019609	4.19	1.26
-7.667*	18.35	51.56	0.06	1.47	1.24	0.021763	4.34	1.32
-17.51	13.76	51.56	0.01	1.42	1.14	0.025425	4.58	1.42
-18.34*	9.17	51.56	-0.05	1.19	1.04	0.018213	3.87	1.22
-19.17*	4.59	51.56	-0.1	1.01	0.97	0.013217	3.29	1.05
-20	0	51.56	-0.15	0.84	0.92	0.009161	2.71	0.88

Tabella 33: Stato di progetto 3, grandezze idrodinamiche del tratto in esame per la portata TR200 anni. River Station=N° sezione; Cum Cn Len= distanza progressiva delle sezioni, Min Ch El= quota minima della sezione; Crit WS= quota dell'altezza critica; WS Elev= quota del pelo libero; EG Slope=pendenza della linea dell'energia; Vel Chnl=velocità nel canale; Froude=numero di Froude della corrente.

Si riporta di seguito un confronto tra i valori della quota della superficie libera raggiunti con lo scenario appena analizzati e i valori relativi allo stato attuale.

Nella seguente tabella si riporta un confronto le quote della superficie libera dello scenario 3 e dello stato attuale, da cui emerge:

- una significativa e preventivabile differenza nel campo di moto nel tratto a valle della tombinatura esistente dove si è proceduto, nello scenario di progetto, alla riprofilatura del corso d'acqua
- una variazione del pelo libero in più o in meno nel tratto dell'esistente tombinatura (sez. 148-228.4) indotto dal ripetuto cambio di regime idraulico (subcritico-supercritico e viceversa)

all'interno della stessa e da un campo di moto che si alterna tra il funzionamento a pelo libero e a pressione. Preme evidenziare che le equazioni di campo di moto presentano una instabilità intrinseca attorno all'altezza critica e, pertanto, in siffatte condizioni idrauliche (moto vario con alternanza di regime idraulico e di funzionamento a pelo libero o in pressione), si possono verificare fluttuazioni del pelo libero innescate dalla continua variazione di funzionamento idraulico del sistema.

- una sostanziale invarianza del pelo libero nel tratto a cielo aperto a monte della via Aurelia

River Station [num]	W.S. Elev scenario 3 [m s.l.m.]	W.S. Elev stato attuale [m s.l.m.]	ΔWSE SP3-SA
437.89	15.14	15.14	0
429.05	14.29	14.29	0
420.2	14.28	14.28	0
411.36	14.3	14.3	0
402.95	13.89	13.89	0
394.54	13.76	13.76	0
394	12.94	12.94	0
386.13	13.17	13.17	0
377.27	13.1	13.1	0
368.41	13.02	13.02	0
359.54	12.72	12.72	0
359	11.67	11.67	0
352	11.49	11.49	0
350.68	11.44	11.44	0
334.51	10.88	10.88	0
321.33	10.53	10.53	0
313.25	9.89	9.89	0
305.16	9.85	9.85	0
297.08	9.68	9.68	0
280.86	8.84	8.84	0
268.46	8.4	8.4	0
261.16	8.57	8.57	0
253.85	8.43	8.43	0
252	8.09	8.09	0
239.14	7.33	7.33	0
233.77	7.6	7.6	0
228.4	7.03	7	0.03
222.65	7.18	6.09	1.09

219.65	6.91	5.18	1.73
210.9	5.62	5.56	0.06
209.4	5.95	5.9	0.05
208.5	5.95	5.9	0.05
207.98	5.17	5.11	0.06
188.69	4.93	4.89	0.04
188.19	4.76	4.74	0.02
162.5	4.24	4.28	-0.04
161.5	4.49	4.5	-0.01
148	3.25	4.62	-1.37
145	2.98	4.7	-1.72
130	2.86	4.55	-1.69
129	2.8		
128	2.73		
115	2.66	4.35	-1.69
104.8	2.59	4.14	-1.55
100	2.53		
99	2.47		
82.62	2.52	3.94	-1.42
80	2.45		
79	2.45		
60	2.27	3.85	-1.58
59	2.27	3.74	-1.47
40	2.16	3.61	-1.45
35	2.05		
30	1.94		
25	1.82		
20	1.7		
15	1.57		
12.02	1.42	3.43	-2.01
	1.33		
	1.24		
-17.51	1.14	3.44	-2.3
-20	1.04		

Tabella 34: Confronto tra la quota della superficie libera raggiunta nello scenario stato di progetto 3 e stato attuale. WS Elev SP3= quota del pelo libero nello scenario di progetto 3; WSElev SA=quota del pelo libero nello stato attuale; ΔWS Elev= differenza tra la quota del pelo libero raggiunta nello scenario di progetto 3 e lo stato attuale

Lo scenario di progetto 3 è in grado di convogliare la portata attesa con tempo di ritorno 200 anni senza originare tracimazioni arginali in tutto il tratto oggetto di intervento.

Nel tratto di corso d'acqua invariato, quindi a monte del parco ferroviario, permangono le problematiche illustrate nello scenario attuale con tracimazioni diffuse all'altezza di via Aurelia.

La differenza di tirante idrico nelle aree allagabili tra stato di progetto (scenario 3) e stato attuale è inferiore a 5 cm; è bene precisare che tale scostamento dei livelli idrici tra stato attuale e di progetto rientra nei valori di tolleranza tipica dei modelli numerici.

7.3.5 Considerazioni conclusive

La modellazione idraulica dello stato attuale evidenzia le problematiche di messa in pressione delle tombinature sotto l'Aurelia SS1 e il parco ferroviario, già rilevate negli studi precedenti. Le conseguenti tracimazioni arginali portano all'allagamento di ampie porzioni di suddette aree.

Gli scenari di progetto propongono la generale riprofilatura del tratto dall'alveo a valle della viabilità Aurelia fino a mare; l'intervento di rifacimento della sezione di deflusso attraverso la realizzazione di due scatolari consente lo smaltimento delle portate di progetto con TR200 anni, anche considerando l'effetto dei cambiamenti climatici, senza tracimazioni arginali, rendendo di fatto possibile riperimetrare le aree allagabili del rio San Giuliano.

Preme evidenziare che la differenza tra i primi due scenari di progetto sta nella diversa geometria del rio nel tratto d'alveo compreso tra via XXmiglia e l'Aurelia.

Nel primo la geometria è descritta attraverso il rilievo strumentale eseguito nel mese di aprile 2023, che quindi considera anche le opere realizzate nell'ambito del progetto di "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce – 1° lotto" (GNO2890).

Nel secondo scenario vengono inseriti, a partire dalla geometria del primo scenario, anche le sistemazioni idrauliche previste nel progetto preliminare di "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce" non ancora progettati ed eseguiti.

Lo scenario tre invece, coincide con i primi due scenari di progetto unicamente per la parte che da mare va alla viabilità portuale.

7.3.5.1 Valutazioni sugli interventi in progetto

Per quanto sopra esposto si possono trarre le seguenti conclusioni in merito alle scelte progettuali effettuate:

1. la configurazione di progetto consente di smaltire le portate con TR200 anni senza tracimazioni arginali nel parco ferroviario e a monte della via Aurelia, con il conseguente miglioramento della riperimetrazione (ad efficacia sospesa) delle fasce di inondabilità del rio San Giuliano.
2. La nuova configurazione del parco ferroviario, unita alla necessità di far posto alla nuova viabilità portuale, porta ad un incremento della lunghezza del tratto realizzato mediante scatolari nel tratto terminale del rio San Giuliano, compensata dalla rimozione della copertura del tratto tombato presente sotto il fabbricato "Eurocolors";

3. La configurazione progettuale 3 considera conclusi i lavori in macrofase 1, ossia la realizzazione della sezione scatolare nel tratto terminale al di sotto della viabilità portuale esistente; in siffatte condizioni nel tratto sistemato viene convogliata la portata di progetto, portando ad una riduzione generalizzata del pelo libero fino circa 30 m a monte del tratto.

8. COMPATIBILITÁ IDRAULICA

8.1 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 1)

A partire dalle portate di piena del rio San Giuliano per diversi tempi di ritorno, è stato implementato un modello idraulico accoppiato 1D+2D a moto vario nello scenario attuale e negli scenari di progetto.

Nello scenario attuale sono state poste in evidenza le criticità idrauliche del corso d'acqua, che costituiscono la traccia per l'individuazione degli interventi di sistemazione idraulica da porre in atto per consentire il deflusso della portata con tempo di ritorno 200 anni senza che si verifichino tracimazioni arginali.

Gli interventi di sistemazione idraulica del rio San Giuliano hanno previsto:

- Sistemazioni idrauliche a monte dell'Aurelia:
    - Allargamento e riprofilatura della sezione idraulica per raccordo con successivi interventi di progetto e eliminazione della tombinatura per un tratto di 11 m localizzato tra le sezioni 15 e 11 del modello idraulico;
- Sistemazioni al di sotto della SS1:
    - Realizzazione di un manufatto idraulico scatolare a unica canna 8,5x2,28 m;
- Sistemazioni a valle dell'Aurelia:
    - Scoperchiatura del tratto di corso d'acqua adiacente il fabbricato cd. "Eurocolors", con realizzazione di canale ad U 8.5x2.5m e conseguente demolizione del fabbricato esistente sovrastante;
    - Realizzazione di un manufatto idraulico scatolare a unica canna 8,5x2,28 m sottopassante la ferrovia e la viabilità in progetto in area portuale;
    - Sistemazione idraulica del tratto terminale a cielo aperto con sezione ad U con dimensioni singolo canale 8.5x2,5m con pendenza del fondo pari all'1%;
    - Riprofilatura con pendenza all'incirca pari all'1% del tratto di lunghezza circa 75 m in prossimità del recapito a mare, con sezione trapezoidale a cielo aperto, per un ottimale raccordo dell'alveo di progetto con lo sbocco. In tale tratto si prevede di abbassare il fondo del corso d'acqua di un minimo di 0.68 m fino ad un massimo di 1.30m

Lo scenario di progetto 1 rappresenta la verifica idraulica delle soluzioni tecniche adottate, mentre lo scenario di progetto 2 rappresenta la verifica idraulica delle soluzioni tecniche adottate qualora il

comune di Genova portasse a compimento tutti le sistemazioni del rio previste nel progetto preliminare “Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce”.

La modellazione idraulica ha evidenziato l’assenza di tracimazioni arginali per un evento bicentenario lungo tutta l’asta presa in esame e, quindi, all’interno del nuovo parco ferroviario, a monte della via Aurelia e anche nel tratto più acclive del corpo idrico.

Inoltre, come viene mostrato nel successivo paragrafo, gli interventi analizzati nei diversi scenari, si sono dimostrati compatibili dal punto di vista normativo, rispettando le prescrizioni imposte dalle norme vigenti in materia di franchi idraulici.

8.1.1 Franchi idraulici

Si riportano di seguito le valutazioni effettuate in merito alla capacità di smaltimento e al rispetto dei franchi idraulici nei due scenari di progetto per l’intero tratto analizzato.

			Tr 50 anni		Tr 200 anni		Tr 500 anni	
River Station [num]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]
32	18.03	17.02	3.36	2.35	3	1.99	2.78	1.77
31	16.75	17.02	3.29	3.56	2.74	3.01	2.44	2.71
30	15.46	17.14	2.29	3.97	1.7	3.38	1.38	3.06
29	15.14	14.81	2.17	1.84	1.52	1.19	1.17	0.84
28	15.28	14.07	2.78	1.57	2.05	0.84	1.67	0.46
27	15.46	13.97	3.5	2.01	2.76	1.27	2.39	0.9
26	14.03	14	2.52	2.49	1.7	1.67	1.31	1.28
25	13.67	13.69	2.25	2.27	1.48	1.5	1.12	1.14
24	14.03	13.72	2.82	2.51	2.25	1.94	1.92	1.61
23.2	13.99	13.89	2.98	2.88	2.42	2.32	2.11	2.01
23.1	13.08	13.62	2.28	2.82	1.71	2.25	1.4	1.94
23	12.92	12.68	2.18	1.94	1.62	1.38	1.31	1.07
22	12.23	12.48	2.07	2.32	1.55	1.8	1.27	1.52
21	11.5	12.39	1.68	2.57	1.18	2.07	0.91	1.8
20.4	11.5	10.82	1.97	1.29	1.5	0.82	1.25	0.57
20.3	11.5	10.86	2.11	1.47	1.66	1.02	1.42	0.78
20.25	11.5	10.55	2.29	1.34	1.86	0.91	1.63	0.68
20.2	11.5	11.2	2.31	2.01	1.89	1.59	1.66	1.36
20.1	11.5	11.64	2.37	2.51	1.95	2.09	1.72	1.86
20	11.5	11.63	2.56	2.69	2.17	2.3	1.96	2.09
19.2	11.57	11.6	2.74	2.77	2.36	2.39	2.16	2.19
19.1	11.24	11.16	2.79	2.71	2.44	2.36	2.26	2.18
19	11.13	11.25	3.08	3.2	2.77	2.89	2.6	2.72

18	10.72	10.94	3.53	3.75	3.31	3.53	3.19	3.41
17.1	10.28	10.89	3.49	4.1	3.35	3.96	3.27	3.88
17	8	7.8	2.12	1.92	1.89	1.69	1.76	1.56
16	7.45	7.87	1.8	2.22	1.54	1.96	1.4	1.82
15.857*	7.41	7.81	1.97	2.37	1.71	2.11	1.57	1.97
15.714*	7.37	7.75	2.15	2.53	1.88	2.26	1.74	2.12
15.571*	7.33	7.69	2.33	2.69	2.06	2.42	1.91	2.27
15.429*	7.28	7.63	2.5	2.85	2.24	2.59	2.09	2.44
15.286*	7.24	7.57	2.69	3.02	2.44	2.77	2.3	2.63
15.143*	7.2	7.51	2.89	3.2	2.67	2.98	2.55	2.86
15	7.16	7.45	3.28	3.57	3.08	3.37	2.95	3.24
14.9	5.62	5.62	1.77	1.77	1.56	1.56	1.43	1.43
14.750*	5.53	5.53	1.83	1.83	1.63	1.63	1.49	1.49
14.600*	5.45	5.45	1.86	1.86	1.64	1.64	1.5	1.5
14.450*	5.37	5.37	1.85	1.85	1.62	1.62	1.48	1.48
14.300*	5.28	5.28	1.81	1.81	1.57	1.57	1.42	1.42
14.150*	5.2	5.2	1.76	1.76	1.51	1.51	1.37	1.37
14	5.11	5.11	1.68	1.68	1.44	1.44	1.29	1.29
13	5.02	5.02	1.63	1.63	1.38	1.38	1.23	1.23
12	5.01	5.01	1.62	1.62	1.37	1.37	1.22	1.22
11	4.71		1.35		1.25		0.95	
10	4.51		1.34		1.16		0.94	
9.9	4.73	4.73	1.56	1.56	1.31	1.31	1.16	1.16
9	4.57	4.57	1.56	1.56	1.31	1.31	1.16	1.16
8.9	4.35		1.34		1.1		0.94	
8.80999*	4.27		1.34		1.08		0.94	
8.71999*	4.19		1.34		1.04		0.93	
8.63*	4.11		1.33		1.03		0.93	
8.54*	4.03		1.33		1.03		0.93	
8.45*	3.95		1.32		1.06		0.92	
8.36*	3.86		1.3		1.13		0.9	
8.27*	3.78		1.29		1.12		0.89	
8.18*	3.7		1.28		1.11		0.88	
8.09*	3.62		1.26		1.11		0.87	
8	3.54		1.24		1.11		0.85	
7	3.73	3.73	1.44	1.44	1.22	1.22	1.06	1.06
6	3.57	3.57	1.3	1.3	1.11	1.11	0.96	0.96
5.9	3.57	3.57	1.3	1.3	1.11	1.11	0.96	0.96
5	3.37	3.37	1.27	1.27	1.09	1.09	0.94	0.94
4.9	4.9	4.74	2.8	2.64	2.62	2.46	2.47	2.31
4.77142*	4.9	4.73	2.9	2.73	2.73	2.56	2.58	2.41
4.64285*	4.9	4.71	3.01	2.82	2.84	2.65	2.69	2.5

4.51428*	4.9	4.7	3.12	2.92	2.95	2.75	2.81	2.61
4.38571*	4.9	4.69	3.24	3.03	3.07	2.86	2.93	2.72
4.25714*	4.9	4.68	3.36	3.14	3.2	2.98	3.06	2.84
4.12857*	4.9	4.66	3.49	3.25	3.33	3.09	3.2	2.96
4	4.9	4.65	3.63	3.38	3.48	3.23	3.35	3.1
3.75	4.9	4.78	3.71	3.59	3.57	3.45	3.45	3.33
3.25	4.9	4.91	3.8	3.81	3.66	3.67	3.55	3.56
3	4.9	5.04	3.91	4.05	3.78	3.92	3.66	3.8
2.75	4.9	3.69	4.02	2.81	3.88	2.67	3.78	2.57
2.25	4.9	2.35	4.1	1.55	3.96	1.41	3.86	1.31
2	4.9	1	4.16	0.26	4.02	0.12	3.92	0.02

Tabella 35: Tabella dei franchi arginali per i diversi tempi di ritorno. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica. Per i tratti a sezione scatolare come LOB e ROB è stata riportata la quota di intradosso dello scatolare. ΔLOB=franco arginale in sponda sinistra; ΔROB=franco arginale in sponda destra.

Nella seguente immagine viene mostrato il franco idraulico in corrispondenza della passerella pedonale che sorgerà sul tratto a cielo aperto del rio compreso tra la sezione 9.9 e la sezione 9.

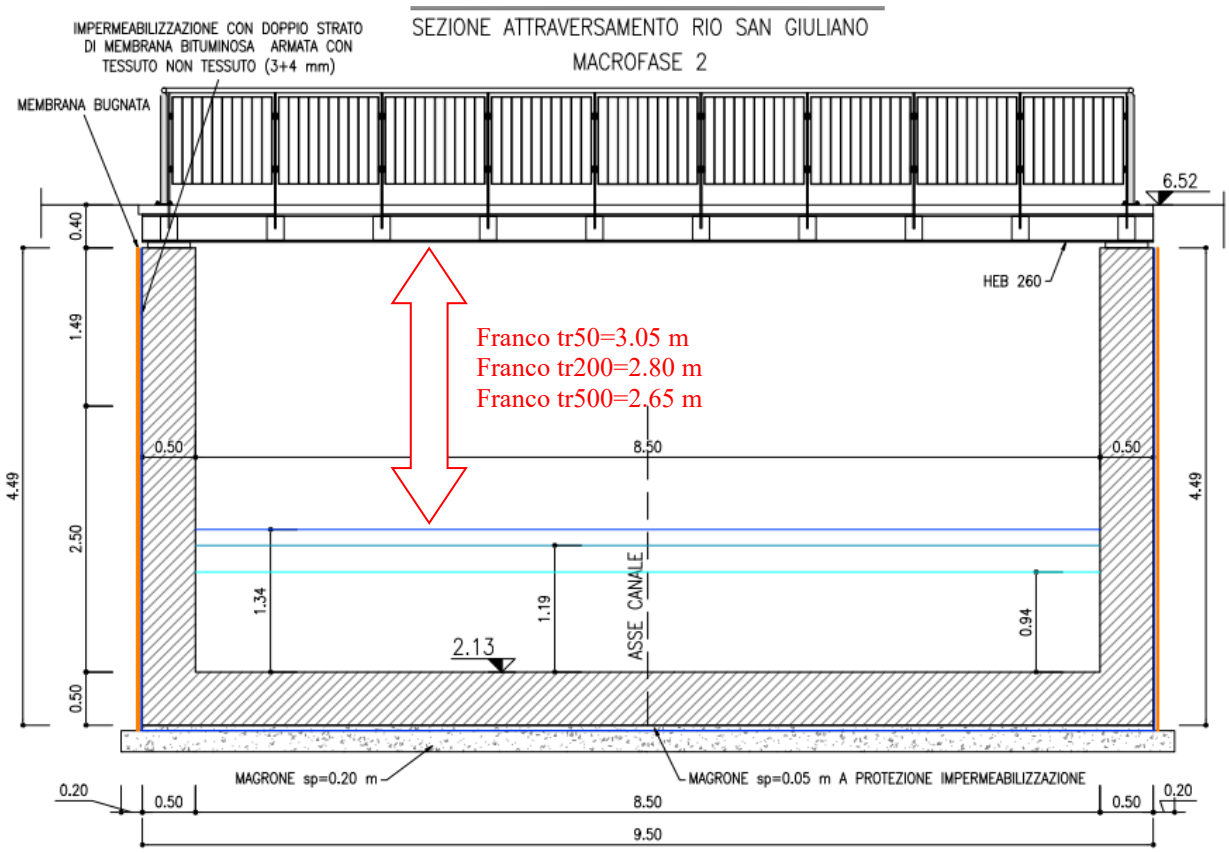


Figura 8.1 - Stato di progetto 1, andamento del pelo libero in corrispondenza della passerella in progetto. WSE=quota superficie libera per i diversi tempi di ritorno.

River Station [num]	Min Ch El [m s.l.m.]	Tr50 anni			Tr200 anni			Tr500 anni		
		Tirante	GdR	Franco	Tirante	GdR	Franco	Tirante	GdR	Franco
11	2.43	0.93	0.41	1.35	1.18	0.52	1.1	1.33	0.58	0.95
10	2.23	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.34	0.59	0.94
8.9	2.07	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.37	0.59	0.94
8.80999*	1.99	1.02	0.45	1.26	1.19	0.52	1.09	1.37	0.62	0.86
8.71999*	1.91	1.02	0.45	1.26	1.19	0.52	1.09	1.38	0.62	0.86
8.63*	1.83	1.02	0.45	1.26	1.2	0.53	1.08	1.39	0.63	0.85
8.54*	1.75	1.03	0.45	1.25	1.2	0.53	1.08	1.4	0.63	0.85
8.45*	1.67	1.03	0.45	1.25	1.2	0.53	1.08	1.41	0.63	0.85
8.36*	1.58	1.05	0.46	1.23	1.22	0.54	1.06	1.43	0.64	0.83
8.27*	1.5	1.06	0.46	1.22	1.23	0.54	1.05	1.45	0.64	0.82
8.18*	1.42	1.07	0.47	1.21	1.24	0.54	1.04	1.47	0.64	0.81
8.09*	1.34	1.08	0.47	1.2	1.25	0.55	1.03	1.49	0.65	0.8
8	1.26	1.1	0.48	1.18	1.27	0.56	1.01	1.54	0.65	0.79

Tabella 36: Grado di riempimento e franco idraulico dei manufatti idraulici scatolari di progetto nello scenario 1 per i diversi tempi di ritorno. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione. Tirante[m];GdR= grado di riempimento all'interno della sezione idraulica [%]; Franco= franco idraulico [m].

Le **NTC2018** prevedono che con riferimento alla portata calcolata con tempo di ritorno duecentennale, nel caso di funzionamento a superficie libera all'interno di una **struttura**, il **tirante idrico non deve superare i 2/3 dell'altezza della sezione**, garantendo comunque un **franco di 0.50 m**, mentre nel caso di **canali a cielo aperto** il franco si innalza sino alla quota di **1.50 metri.**

Per quanto concerne il **Manuale di Progettazione RFI**, vista la presenza di un attraversamento secondario viene richiesto che la sezione di deflusso del tombino sia in grado di smaltire la portata con un **grado di riempimento non superiore al 70%** della sezione totale.

Infine, il **Regolamento Regionale n.03/2011 (R.R. 03/2011)** stabilisce che tutte le opere devono avere **franchi** adeguati rispetto al livello di piena previsto per la portata duecentennale, portata di riferimento per la progettazione di opere idrauliche od opere interferenti con l'alveo e pertanto **non inferiori, al massimo tra i valori a) o b) indicati nella tabella seguente**.

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

Tabella 37: Criteri di valutazione del franco idraulico per la R.R.03/2011

Viste le definizioni il rio San Giuliano rientra nel reticolo idrografico di primo livello avendo un bacino di superficie di poco superiore a 1 km^2.
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.

Tra le tre normative, quella maggiormente stringente risulta essere la R.R.03/2011 che, dal confronto riportato in Tabella 35 e Tabella 36 tra la quota raggiunta dalla superficie libera e la quota di intradosso della sezione scatolare, è rispettata.
Anche per quanto concerne l'attraversamento pedonale della stazione Voltri in progetto è garantito il rispetto delle normative.

8.2 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 2)

Dalla disamina dei risultati della modellazione idraulica si può affermare che gli interventi in progetto, anche senza considerare la realizzazione delle sistemazioni idrauliche previste nel progetto preliminare "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce" non ancora progettate ed eseguite, sono compatibili dal punto di vista idraulico, in quanto:

- Migliorano la situazione esistente, consentendo il transito di portate con TR200 anni senza tracimazioni arginali;
- Rispettano la normativa vigente in materia di progettazione di opere idrauliche

Come già riportato in precedenza, entrambi gli scenari analizzati contemplano implicitamente l'effetto dei cambiamenti climatici sulle portate di deflusso, garantendo un adeguato franco idraulico delle opere.
Sebbene gli interventi descritti nello scenario 1 permettano di raggiungere gli obiettivi di sicurezza idraulica delle aree prospicienti il rio San Giuliano, gli interventi illustrati nello scenario di progetto 2,

che prevedono il completamento dei lavori di riprofilatura arginale in un tratto d'alveo a monte dell'Aurelia di cui al progetto preliminare "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce", assicurano un ulteriore incremento dei franchi idraulici arginali nella zona di intervento (sez 24-18).
Inoltre, preme evidenziare che le sistemazioni dello scenario 1 interessano il tratto d'alveo a valle della sez.15 e si raccordano gradualmente alla geometria attuale del corpo idrico. Gli interventi sulle sezioni 24-18 previste nel progetto preliminare su indicato si vanno ad innestare sul tratto d'alveo parzialmente sistemato nel corso dei lavori previsti nel Lotto 1; ne consegue la compatibilità del profilo della geometria in progetto con quella della futura sistemazione, in altre parole la sistemazione idraulica dello scenario 1 risulta coerente con il quadro progettuale rappresentato nel progetto preliminare "Interventi di sistemazione idraulica rio San Giuliano da via Ventimiglia alla foce".

8.2.1 Franchi idraulici

Nello scenario 2 si verifica un ulteriore miglioramento dei franchi idraulici arginali grossomodo nel tratto compreso tra le sezioni 24-18, mentre i franchi all'interno delle sezioni scatolari risultano pressoché inalterati.

Inalterato è anche il franco in corrispondenza della passerella in progetto e pertanto si rimanda alla

Figura 8.1 per maggiori dettagli.

			Tr 50 anni		Tr 200 anni		Tr 500 anni	
River Station [num]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]
32	18.03	17.02	3.37	2.36	3	1.99	2.81	1.8
31	16.75	17.02	3.3	3.57	2.74	3.01	2.52	2.79
30	15.46	17.14	2.31	3.99	1.7	3.38	1.49	3.17
29	15.14	14.81	2.19	1.86	1.52	1.19	1.39	1.06
28	15.28	14.07	2.89	1.68	2.05	0.84	2.13	0.92
27	15.46	13.97	3.64	2.15	2.76	1.27	2.99	1.5
26	14.03	14	2.79	2.76	1.7	1.67	2.19	2.16
25	13.67	13.69	2.64	2.66	1.48	1.5	2.04	2.06
24	14.03	14.03	3.46	3.46	2.25	2.25	2.83	2.83
23.2	14.02	14.02	3.99	3.99	2.45	2.45	3.37	3.37
23.1	14.02	14.02	4.15	4.15	2.65	2.65	3.53	3.53
23	13.3	13.3	3.46	3.46	2	2	2.84	2.84
22	12.54	12.54	3.06	3.06	1.86	1.86	2.43	2.43
21	11.85	11.85	2.61	2.61	1.53	1.53	1.99	1.99
20.4	11.8	11.8	2.76	2.76	1.8	1.8	2.14	2.14
20.3	11.6	11.6	2.66	2.66	1.76	1.76	2.04	2.04
20.25	11.6	10.51	2.76	1.67	1.96	0.87	2.14	1.05

20.2	11.77	11.77	2.94	2.94	2.16	2.16	2.33	2.33
20.1	11.77	11.77	2.96	2.96	2.22	2.22	2.35	2.35
20	11.67	11.67	2.92	2.92	2.34	2.34	2.32	2.32
19.2	11.57	11.6	2.88	2.91	2.36	2.39	2.29	2.32
19.1	11.24	11.16	2.91	2.83	2.44	2.36	2.4	2.32
19	11.35	11.35	3.57	3.57	2.99	2.99	3.11	3.11
18	11.1	11.1	4.04	4.04	3.69	3.69	3.69	3.69
17.1	10.28	10.89	3.49	4.1	3.35	3.96	3.27	3.88
17	8	7.8	2.12	1.92	1.89	1.69	1.76	1.56
16	7.45	7.87	1.8	2.22	1.54	1.96	1.4	1.82
15.857*	7.41	7.81	1.97	2.37	1.71	2.11	1.57	1.97
15.714*	7.37	7.75	2.15	2.53	1.88	2.26	1.74	2.12
15.571*	7.33	7.69	2.33	2.69	2.06	2.42	1.91	2.27
15.429*	7.28	7.63	2.5	2.85	2.24	2.59	2.09	2.44
15.286*	7.24	7.57	2.69	3.02	2.44	2.77	2.3	2.63
15.143*	7.2	7.51	2.89	3.2	2.67	2.98	2.55	2.86
15	7.16	7.45	3.28	3.57	3.08	3.37	2.95	3.24
14.9	5.62	5.62	1.77	1.77	1.56	1.56	1.43	1.43
14.750*	5.53	5.53	1.83	1.83	1.63	1.63	1.49	1.49
14.600*	5.45	5.45	1.86	1.86	1.64	1.64	1.5	1.5
14.450*	5.37	5.37	1.85	1.85	1.62	1.62	1.48	1.48
14.300*	5.28	5.28	1.81	1.81	1.57	1.57	1.42	1.42
14.150*	5.2	5.2	1.76	1.76	1.51	1.51	1.37	1.37
14	5.11	5.11	1.68	1.68	1.44	1.44	1.29	1.29
13	5.02	5.02	1.63	1.63	1.38	1.38	1.23	1.23
12	5.01	5.01	1.62	1.62	1.37	1.37	1.22	1.22
11	4.71		1.35		1.26		0.95	
10	4.51		1.34		1.17		0.94	
9.9	4.73	4.73	1.56	1.56	1.31	1.31	1.16	1.16
9	4.57	4.57	1.56	1.56	1.31	1.31	1.16	1.16
8.9	4.35		1.34		1.11		0.94	
8.80999*	4.27		1.34		1.08		0.94	
8.71999*	4.19		1.34		1.04		0.94	
8.63*	4.11		1.33		1.03		0.93	
8.54*	4.03		1.33		1.03		0.93	
8.45*	3.95		1.32		1.06		0.92	
8.36*	3.86		1.3		1.13		0.9	
8.27*	3.78		1.29		1.12		0.9	
8.18*	3.7		1.28		1.11		0.89	
8.09*	3.62		1.26		1.11		0.87	
8	3.54		1.24		1.11		0.86	
7	3.73	3.73	1.44	1.44	1.22	1.22	1.06	1.06

6	3.57	3.57	1.3	1.3	1.11	1.11	0.96	0.96
5.9	3.57	3.57	1.3	1.3	1.11	1.11	0.96	0.96
5	3.37	3.37	1.27	1.27	1.09	1.09	0.95	0.95
4.9	4.9	4.74	2.80	2.64	2.62	2.46	2.48	2.32
4.77142*	4.9	4.73	2.9	2.73	2.73	2.56	2.58	2.41
4.64285*	4.9	4.71	3.01	2.82	2.84	2.65	2.69	2.5
4.51428*	4.9	4.7	3.12	2.92	2.95	2.75	2.81	2.61
4.38571*	4.9	4.69	3.24	3.03	3.07	2.86	2.93	2.72
4.25714*	4.9	4.68	3.36	3.14	3.2	2.98	3.06	2.84
4.12857*	4.9	4.66	3.48	3.24	3.33	3.09	3.2	2.96
4	4.9	4.65	3.63	3.38	3.48	3.23	3.35	3.1
3.75	4.9	4.78	3.71	3.59	3.57	3.45	3.44	3.32
3.25	4.9	4.91	3.8	3.81	3.66	3.67	3.54	3.55
3	4.9	5.04	3.91	4.05	3.78	3.92	3.66	3.8
2.75	4.9	3.69	4.02	2.81	3.88	2.67	3.77	2.56
2.25	4.9	2.35	4.09	1.54	3.96	1.41	3.85	1.3
2	4.9	1	4.15	0.25	4.02	0.12	3.91	0.01

Tabella 38: Tabella dei franchi arginali per i diversi tempi di ritorno. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica. Per i tratti realizzati mediante sezioni scatolari come LOB e ROB è stata riportata la quota di intradosso dello scatolare. ΔLOB=franco arginale in sponda sinistra; ΔROB=franco arginale in sponda destra.

River Station [num]	Min Ch El [m s.l.m.]	Tr50 anni			Tr200 anni			Tr500 anni		
		Tirante	GdR	Franco	Tirante	GdR	Franco	Tirante	GdR	Franco
11	2.43	0.93	0.41	1.35	1.18	0.52	1.1	1.33	0.58	0.95
10	2.23	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.34	0.59	0.94
8.9	2.07	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.34	0.59	0.94
8.80999*	1.99	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.34	0.59	0.94
8.71999*	1.91	0.94	0.41	1.34	1.19	0.52	1.09	1.34	0.59	0.94
8.63*	1.83	0.95	0.42	1.33	1.2	0.53	1.08	1.35	0.59	0.93
8.54*	1.75	0.95	0.42	1.33	1.2	0.53	1.08	1.35	0.59	0.93
8.45*	1.67	0.96	0.42	1.32	1.2	0.53	1.08	1.36	0.60	0.92
8.36*	1.58	0.98	0.43	1.3	1.22	0.54	1.06	1.38	0.61	0.9

8.27*	1.5	0.99	0.43	1.29	1.23	0.54	1.05	1.38	0.61	0.9
8.18*	1.42	1	0.44	1.28	1.24	0.54	1.04	1.39	0.61	0.89
8.09*	1.34	1.02	0.45	1.26	1.25	0.55	1.03	1.41	0.62	0.87
8	1.26	1.04	0.46	1.24	1.27	0.56	1.01	1.42	0.62	0.86

Tabella 39: Grado di riempimento e franco idraulico dei manufatti idraulici scatolari di progetto nello scenario 2 per i diversi tempi di ritorno. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione. Tirante[m];GdR= grado di riempimento all'interno della sezione idraulica [%]; Franco= franco idraulico [m].

8.3 Compatibilitá idraulica degli interventi in progetto (scenario 3)

Dalla disamina dei risultati della modellazione idraulica si può affermare che la porzione di interventi analizzati in questo scenario sono compatibili dal punto di vista idraulico, in quanto:

- Migliorano la situazione esistente, consentendo il transito di portate con TR200 anni senza tracimazioni arginali nella zona rimaneggiata;
- Rispettano la normativa vigente in materia di progettazione di opere idrauliche

Come già riportato in precedenza, anche tale scenario contempla implicitamente l'effetto dei cambiamenti climatici sulle portate di deflusso, garantendo un adeguato franco idraulico delle opere.

8.3.1 Franchi idraulici

Si riporta di seguito una tabella dei franchi idraulici nello scenario di progetto 3.

	Stato di Progetto scenario 3					
			Tr50 anni		Tr 200 anni	
River Station [num]	LOB Elev [m s.l.m.]	ROB Elev [m s.l.m.]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]	ΔLOB [m]	ΔROB [m]
437.89	18.03	17.02	3.28	2.27	2.89	1.88
429.05	16.75	17.02	2.99	3.26	2.46	2.73
420.2	15.46	17.14	1.9	3.58	1.18	2.86
411.36	15.14	14.81	1.58	1.25	0.84	0.51
402.95	15.28	14.07	1.99	0.78	1.39	0.18
394.54	15.46	13.97	2.35	0.86	1.7	0.21
394	15.46	13.97	2.97	1.48	2.52	1.03
386.13	14.03	14	1.69	1.66	0.86	0.83
377.27	13.67	13.69	1.37	1.39	0.57	0.59
368.41	14.03	13.72	1.82	1.51	1.01	0.7
359.54	13.99	13.89	2.02	1.92	1.27	1.17
359	13.99	13.89	2.95	2.85	2.32	2.22
352	13.08	13.62	2.21	2.75	1.59	2.13

350.68	12.92	12.68	2.1	1.86	1.48	1.24
334.51	12.23	12.48	1.94	2.19	1.35	1.6
321.33	11.5	12.39	1.54	2.43	0.97	1.86
313.25	11.5	11.2	2.15	1.85	1.61	1.31
305.16	11.5	11.64	2.19	2.33	1.65	1.79
297.08	11.5	11.63	2.33	2.46	1.82	1.95
280.86	11.13	11.25	2.7	2.82	2.29	2.41
268.46	10.72	10.94	2.67	2.89	2.32	2.54
261.16	10.28	10.89	2.01	2.62	1.71	2.32
253.85	8.7	8.6	0.7	0.6	0.27	0.17
252	8.1	8.6	0.75	1.25	0.01	0.51
239.14	7.43	8.6	1.15	2.32	0.1	1.27
233.77	7.45	7.45	1.2	1.2	-0.15	-0.15
228.4	5.05	5.05	-0.99	-0.99	-1.98	-1.98
222.65	4.78	4.78	-0.79	-0.79	-2.4	-2.4
219.65	3.98	3.98	-0.82	-0.82	-2.93	-2.93
210.9	3.96	4	-0.68	-0.64	-1.66	-1.62
209.4	3.61	3.65	-1.24	-1.2	-2.34	-2.3
208.5	3.29	3.33	-1.58	-1.54	-2.66	-2.62
207.98	3.13	3.09	-1.3	-1.34	-2.04	-2.08
188.69	3.1	3.1	-1.05	-1.05	-1.83	-1.83
188.19	2.82	2.83	-1.2	-1.19	-1.94	-1.93
162.5	2.88	2.86	-0.62	-0.64	-1.36	-1.38
161.5	3.9	3.9	0.21	0.21	-0.59	-0.59
148	3.9	3.9	0.86	0.86	0.65	0.65
145	4.41	4.46	1.61	1.66	1.43	1.48
136.36	4.13	4.63	1.44	1.94	1.27	1.77
129	3.95		1.31		1.15	
128	3.86		1.29		1.13	
115	3.78		1.28		1.12	
104.8	3.7		1.27		1.11	
100	3.62		1.24		1.09	
99	3.54		1.22		1.07	
82.62	3.57	3.57	1.21	1.21	1.05	1.05
80	3.57	3.57	1.3	1.3	1.12	1.12
79	3.57	3.57	1.3	1.3	1.12	1.12
60	3.37	3.37	1.28	1.28	1.1	1.1
59	4.9	4.74	2.81	2.65	2.63	2.47
40	4.9	4.73	2.92	2.75	2.74	2.57
35	4.9	4.71	3.03	2.84	2.85	2.66
30	4.9	4.7	3.14	2.94	2.96	2.76
25	4.9	4.69	3.26	3.05	3.08	2.87

20	4.9	4.68	3.38	3.16	3.2	2.98
15	4.9	4.66	3.52	3.28	3.33	3.09
12.02	4.9	4.65	3.67	3.42	3.48	3.23
2.177*	4.9	4.78	3.74	3.62	3.57	3.45
-7.667*	4.9	4.91	3.82	3.83	3.66	3.67
-17.51	4.9	5.04	3.91	4.05	3.76	3.9
-18.340*	4.9	3.69	3.99	2.78	3.86	2.65
-19.170*	4.9	2.35	4.06	1.51	3.93	1.38
-20	4.9	1	4.11	0.21	3.98	0.08

Tabella 40: Tabella dei franchi arginali per i tempi di ritorno indagati. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione LOB Elev=quota della sponda in sinistra idrografica; ROB Elev=quota della sponda in destra idrografica. Per i tratti realizzati mediante sezioni scatolari come LOB e ROB è stata riportata la quota di intradosso dello scatolare. ΔLOB=franco arginale in sponda sinistra; ΔROB=franco arginale in sponda destra.

River Station [num]	Min Ch El [m s.l.m.	Tr50 anni			Tr200 anni		
		Tirante	Grado riempimento	Franco	Tirante	Grado riempimento	Franco
129	1.67	0.97	0.43	1.31	1.13	0.50	1.15
128	1.58	0.99	0.43	1.29	1.15	0.50	1.13
115	1.5	1	0.44	1.28	1.16	0.51	1.12
104.80	1.42	1.01	0.44	1.27	1.17	0.51	1.11
100	1.34	1.04	0.46	1.24	1.19	0.52	1.09
99	1.26	1.06	0.46	1.22	1.21	0.53	1.07
82.62	1.24	1.12	0.48	1.31	1.13	0.50	1.15

Tabella 41: Grado di riempimento e franco idraulico dei manufatti idraulici scatolari di progetto nello scenario 3 per i tempi di ritorno indagati. River Station=N° sezione; Min Ch El= quota minima della sezione. Tirante[m];GdR= grado di riempimento all'interno della sezione idraulica [%]; Franco= franco idraulico [m].