

REGIONE LIGURIA



# Studio idraulico di dettaglio dei tratti terminali del f. Roia e del t. Bevera con determinazione di scenari di inondazione per eventi di piena

Relazione tecnica



Regione Liguria - Settore Assetto del Territorio

Relazione tecnica

Maggio 2020

This report has been prepared under the DHI Business Management System certified by Bureau Veritas to comply with ISO 9001 (Quality Management)

ISO 9001  
Management System Certification

BUREAU VERITAS  
Certification Denmark A/S



# Studio idraulico di dettaglio dei tratti terminali del f. Roia e del t. Bevera con determinazione di scenari di inondazione per eventi di piena

Relazione tecnica

Committente Regione Liguria - Settore Assetto del Territorio  
Referente del Committente Ing. Roberto Boni



Tratto terminale del f. Roia

Project manager	Daniele Dolia
Quality supervisor	Davide Persi
Author	Daniele Dolia

Codice progetto - elaborato	22802788-01-00500
Data di approvazione	23 giugno 2020
Revisione	2.0
Classificazione	Open





## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Quadro conoscitivo e base dati</b> .....	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Sopralluogo</b> .....	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>Implementazione del modello idraulico</b> .....	<b>9</b>
4.1	Approccio modellistico generale .....	9
4.2	Implementazione del modello monodimensionale .....	10
4.2.1	Geometria delle sezioni trasversali .....	10
4.2.2	Strutture implementate .....	14
4.2.3	Scabrezza idraulica .....	15
4.2.4	Condizioni al contorno .....	16
4.3	Implementazione del modello bidimensionale .....	22
4.3.1	Costruzione della griglia di calcolo .....	22
4.3.2	Condizioni al contorno .....	26
4.3.3	Principali parametri del modello .....	27
4.4	Accoppiamento modelli 1D+2D .....	27
4.5	Confronto con Piano di Bacino .....	28
<b>5</b>	<b>Risultati della modellazione per assegnati tempi di ritorno</b> .....	<b>32</b>
5.1.1	Torrente Bevera .....	33
5.1.2	Fiume Roia presso località Airole .....	37
5.1.3	Fiume Roia da località Trucco a foce .....	38
<b>6</b>	<b>Proposta di fasce di pericolosità idraulica</b> .....	<b>51</b>
6.1	Premessa .....	51
6.2	Criteri per la definizione delle fasce di pericolosità idraulica .....	52
6.3	Scenario di parzializzazione sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 50 anni .....	54
6.4	Scenario di parzializzazione sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 200 anni .....	55
6.5	Scenario di parzializzazione sezione ROI-100 per evento con tempo di ritorno 200 anni .....	56
6.6	Scenario con incremento di portata del torrente Bevera .....	58
6.7	Risultati .....	58
<b>7</b>	<b>Proposta di fascia di riassetto fluviale</b> .....	<b>60</b>
7.1	Premessa .....	60
7.2	Criteri per la definizione della fascia di riassetto fluviale .....	60
7.3	Risultati .....	61
<b>8</b>	<b>Analisi dell'impatto della potenziale crescita di vegetazione in alveo</b> .....	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Individuazione del limite di edificabilità nelle aree classificate B0</b> .....	<b>66</b>
<b>10</b>	<b>Individuazione scenari di intervento</b> .....	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>Conclusioni</b> .....	<b>72</b>



## **ALLEGATI**

### **ALLEGATO A**

**Tabelle delle grandezze**

**idrodinamiche in alveo**

### **ALLEGATO B**

**CODICE DI CALCOLO MIKE BY DHI**

Descrizione Tecnica

## 1 Premessa

Il presente elaborato si inserisce all'interno del progetto europeo CONCERT-EAUX “Concertazione Transfrontaliera della Valle Roia per le strategie di adattamento ai cambiamenti climatici” nell’ambito del programma INTERREG-ALCOTRA di cui Regione Liguria è Capofila.

In generale, il progetto riguarda le acque superficiali, le acque sotterranee e le loro relazioni in termini di qualità e quantità, e consentirà di realizzare un “osservatorio climatico” italo-francese nel bacino idrografico internazionale del fiume Roia e disporrà quindi degli elementi per definire una strategia di gestione delle risorse idriche nel quadro dei cambiamenti climatici, consentendo in particolare di adattare alle nuove conoscenze gli strumenti di pianificazione dell’uso del territorio e delle risorse naturali.

Nello specifico, l’elaborato costituisce lo studio idraulico relativo all’attività del Work Package “WP4 - Studi, analisi ed attività derivate”, sotto-progetto “WP4\_3 – Applicazioni degli studi alla pianificazione ed alla governance territoriale”, che prevede l’individuazione delle zonazioni di pericolosità da inondazione nella piana alluvionale di fondovalle del fiume Roia, prevalentemente ricadente nel comune di Ventimiglia (IM).

L’incarico, affidato agli scriventi con Decreto Dirigenziale n. 7964/2019 (CIG 8096744C82 – CUP G28C17000040007), consente inoltre l’aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano di Bacino regionale per l’Assetto idrogeologico (PAI) vigente e del corrispondente Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) dell’Autorità di Bacino distrettuale Appennino Settentrionale.

Lo studio idraulico recepisce i prodotti delle seguenti attività, anch’esse eseguite nell’ambito del progetto CONCERT-EAUX:

- Rilievi topografici, effettuati da parte di Gter s.r.l. costituiti da:
  - rilievo topografico delle sezioni di alveo del fiume Roia per un tratto di lunghezza pari a circa 8,5 km, compreso tra località ponte Bocche, a monte di località Trucco, e la foce, e per un tratto di circa 1 km in corrispondenza della località Airole;
  - rilievo topografico delle sezioni di alveo del torrente Bevera, per un tratto di lunghezza pari a circa 4 km, compreso tra località Torri e la confluenza con il fiume Roia.
- Modellazione idrologica del bacino del Roia effettuata dall’Università di Genova - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) che ha fornito i valori delle portate di massima piena e dei relativi idrogrammi per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni per le principali sezioni significative del bacino, determinate attraverso un modello idrologico di dettaglio, elaborato a scala di bacino.

In dettaglio, le attività previste dall’incarico sono così esplicitate:

- Determinazione di scenari di pericolosità di inondazione

L’attività prevede l’elaborazione di scenari di inondazione potenziale dei tratti oggetto di rilievo topografico del fiume Roia e del torrente Bevera, per diversi tempi di ritorno, sulla base delle risultanze dello studio idrologico svolto dal DICCA dell’Università di Genova.

Lo studio idraulico deve consentire di determinare le portate massime smaltibili con adeguato franco nei vari tratti, con conseguente individuazione delle aree inondabili per i diversi tempi di ritorno di interesse per la pianificazione di bacino di livello regionale (T= 50, 200 e 500 anni) con le relative entità di tiranti idrici massimi e velocità di scorrimento massime, sulla base dei criteri regionali di cui alla DGR 91/2013.

È prevista un'analisi di sensitività del modello per tener conto dell'incertezza intrinseca alla modellazione dei fenomeni che occorrono durante un evento di piena e che non sono direttamente schematizzati all'interno di un modello idraulico (trasporto solido, trasporto di materiale flottante, etc.).

A questo fine, i risultati delle simulazioni idrauliche devono essere analizzati in termini di franco idraulico residuo, velocità di deflusso della piena, criticità localizzate (rigurgiti in prossimità di ponti o strettoie) e incrociando gli stessi con le caratteristiche specifiche del territorio quali livello di urbanizzazione, caratteristica delle eventuali opere di difesa (argini, muri spondali, presenza di corde molle), presenza di infrastrutture antropiche (ponti, salti di fondo, confluenze), evidenze in alveo (depositi, vegetazione, ecc.).

In funzione delle risultanze delle analisi incrociate e nei casi in cui in alcuni tratti di studio l'assenza di esondazioni (che comporterebbe una mappatura a pericolosità nulla) sia legata ad un franco idraulico non adeguato, si deve provvedere ad un'analisi di sensitività del modello, selezionando e applicando le metodologie di verifica della pericolosità idraulica più idonee.

I risultati derivanti dalle analisi di sensitività rappresentano il principale input per la determinazione delle fasce di pericolosità idraulica che vengono definite a seguito di una valutazione puntuale e non come mero output della modellazione, il tutto in stretta collaborazione con i tecnici regionali.

Ai fini del previsto aggiornamento del PAI, sulla base degli scenari "inviluppo" definitivamente individuati, anche in termini di tiranti e velocità massimi, vengono altresì determinati i cosiddetti "ambiti normativi" della fascia B, in applicazione dei criteri ex DGR 91/2013.

In coerenza con i criteri ex DGR 91/2013, lo studio prevede l'esecuzione di specifiche simulazioni finalizzate ad individuare il limite massimo di edificabilità complessivo delle aree inondabili eventualmente classificate come ambiti "B0" ai sensi degli stessi criteri, in termini di superficie e volume sottraibile al deflusso della piena, tale da non provocare aumenti di pericolosità e rischio nelle zone limitrofe, in particolare a discapito dell'edificato esistente.

- Determinazione scenari di intervento

Sulla base dei risultati dell'attività precedente, ai fini dell'aggiornamento del "piano interventi" del PAI vigente e della individuazione delle previste "misure" nell'ambito del successivo aggiornamento del PGRA, è richiesta l'individuazione di massima di adeguati interventi di sistemazione idraulica ai fini della mitigazione delle condizioni di rischio e della protezione dei principali elementi a rischio presenti, in considerazione anche della salvaguardia dell'assetto ecologico del corso d'acqua e delle potenzialità di fruizione turistico-naturalistiche dello stesso.

Sulla base di tali valutazioni, dovrà essere proposta la perimetrazione della fascia di riassetto fluviale, di cui ai criteri regionali per la pianificazione di bacino ex DGR 1265/2001 e alla normativa di attuazione del PAI vigente (art. 12, c., lett. b) NdA PAI), sulla base di considerazioni tecnico-idrauliche e ambientali.

Nel corso dello studio idraulico è emersa la necessità di aggiornare il rilievo topografico fornito dalla committenza per renderlo idoneo alle finalità dell'incarico. In accordo con Regione Liguria, così come indicato nella nostra nota denominata ACR/Idc/093 del 19/3/2020, acquisita a protocollo regionale PG/2020/0106437, gli scriventi si sono occupati di svolgere quanto descritto, consegnando alla committenza il rilievo definitivo riportante le sezioni topografiche d'alveo ed i prospetti dei manufatti di attraversamento, in modo da rendere il rilievo fruibile per futuri utilizzi. Le risultanze dell'attività sono riportate negli elaborati "22802788-01-00200.pdf" e "22802788-01-00300.xlsx".

Inoltre, ad integrazione di quanto già indicato, è stata effettuata un'analisi specifica sull'impatto sugli eventi alluvionali di una potenziale crescita significativa della vegetazione nell'alveo del fiume Roia.

Per la realizzazione dell'incarico è stato adottato un modello idraulico mono-bidimensionale ad elevato dettaglio di rappresentazione del territorio. Stante le caratteristiche dei corsi d'acqua oggetto di studio, l'applicazione modellistica non può prescindere da uno schema bidimensionale che ben rappresenti il tessuto urbano con alta risoluzione, senza al contempo rinunciare al dettaglio delle singolarità geometriche e dei manufatti in alveo. Per questo è adottato il codice di calcolo MIKE FLOOD, che consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE HYDRO River e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso strumento l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE HYDRO River per la simulazione monodimensionale di tratti di alveo incisi e per il deflusso idrodinamico attraverso strutture quali ponti, tombini e salti di fondo, MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso.

Nel seguito del documento sono descritte le attività svolte per l'adempimento dell'incarico. In particolare, il Cap. 2 descrive l'insieme dei dati utilizzati per l'adempimento delle attività. Il Cap. 3 riporta l'indagine preliminare dei corsi d'acqua oggetto di studio e del territorio circostante avvenuta mediante specifico sopralluogo. Nel Cap. 4 è descritta la fase di implementazione della modellistica idraulica comprensiva delle scelte tecniche adottate. Nel Cap. 5 vengono mostrati ed analizzati i risultati degli scenari per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. I successivi Cap. 6 e 7 illustrano la metodologia, e i conseguenti esiti, con cui sono state elaborate una proposta rispettivamente di fasce di pericolosità idraulica e di fascia di riassetto fluviale, mentre nel successivo Cap. 8 si riporta l'analisi svolta sull'impatto della potenziale crescita di vegetazione in alveo. Nel Cap. 9 vengono riportate le valutazioni inerenti al limite massimo di edificabilità per le aree B0 mentre nel successivo, Cap. 10, sono proposti alcuni scenari di intervento di messa in sicurezza di una porzione di territorio nel Comune di Ventimiglia. A conclusione, nel Cap. 11 viene tracciato un quadro riassuntivo degli esiti dell'approfondimento idraulico oggetto di incarico.

## 2 Quadro conoscitivo e base dati

In questo capitolo vengono riportati tutte le fonti di informazione consultate ed i dati utilizzati per lo svolgimento dello studio idraulico.

In questo contesto è stata allestita una piattaforma GIS che ha permesso di uniformare e catalogare tutti i dati territoriali disponibili e allo stesso tempo di visualizzare i risultati dello studio in modo efficace e dinamico. In accordo con i tecnici della Regione, il sistema di coordinate utilizzato, è Monte Mario / Italy zone 1 (EPSG: 3003).

In primo luogo, è stato consultato il vigente Piano di Bacino del fiume Roia, la cui ultima variante approvata è entrata in vigore il 16/10/2019 con il DDG n. 5815 del 02/10/2019. Oltre ai documenti che costituiscono il Piano, sono stati reperiti ed utilizzati nello studio anche l'insieme dei tematismi in formato GIS, quali reticolo idrografico, perimetrazione delle aree allagabili, degli ambiti normativi, del rischio idraulico, ecc.

Non di secondaria importanza è stato il reperimento della modellazione idraulica utilizzata per la determinazione delle fasce di inondabilità vigenti, comprensiva delle geometrie delle sezioni del corso d'acqua. Tale informazione, oltre a consentire un preliminare confronto con i risultati del nuovo studio, ha permesso l'identificazione delle informazioni plano-altimetriche degli attraversamenti stradali e ferroviari utilizzate per l'integrazione del rilievo topografico.

La componente idrologica utilizzata nel presente studio deriva interamente da quanto riportato nello studio idrologico effettuato dall'Università di Genova - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA) nell'ambito dello stesso progetto CONCERT-EAUX. Lo studio fornisce gli idrogrammi di piena per i diversi tempi di ritorno, 50, 200 e 500 anni, per le sezioni principali dei corsi d'acqua analizzati. In particolare, per ogni tempo di ritorno sono disponibili 20 idrogrammi corrispondenti ad una diversa durata dell'evento meteorico.

Come già indicato in sede di gara e nel Programma Operativo di Lavoro, il modello idraulico implementato utilizza uno schema mono-bidimensionale. In particolare, si utilizzerà un modello monodimensionale per rappresentare i tratti di alveo incisi e per il deflusso idrodinamico attraverso strutture quali ponti, tombini e salti di fondo, mentre un modello bidimensionale per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso.

I risultati del rilievo topografico effettuato da Gter s.r.l., opportunamente integrati dagli scriventi così come definito nella precedente consegna (elaborati "22802788-01-00200.pdf" e "22802788-01-00300.xlsx"), sono stati utilizzati per la schematizzazione del modello monodimensionale.

L'area soggetta a potenziale esondazione è stata rappresentata a partire dal dato Lidar prodotto nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento del Ministero dell'Ambiente nel periodo 2009-2011 e rielaborato da Regione Liguria.

Quale base cartografica per l'intero studio è stata utilizzata la cartografica tecnica regionale fornita dalla Committenza in scala 1:5000. Le informazioni qui contenute sono state integrate da quelle derivanti da immagini satellitari (fonte Google) e le ortofoto degli alvei oggetto di studio derivanti dall'attività di rilievo topografico.

Infine, è stato consultato il vigente Piano Urbanistico Comunale, messo a disposizione del Comune di Ventimiglia, per l'identificazione della presenza di eventuali aree di espansione edilizia ricadenti all'interno delle aree potenzialmente allagabili in ambito B0.

### 3 Sopralluogo

L'attività di sopralluogo è stata predisposta con la molteplice utilità di analizzare il territorio a fini idraulici, identificare preventivamente le potenziali criticità idrauliche e di verificare la bontà dei dati acquisiti, integrandoli, qualora necessario, attraverso misurazioni specifiche.

Di seguito si riportano le principali tematiche, con la rappresentazione di alcune foto a campione scattate in tale circostanza, mentre si rimanda al documento "22802788-01-00200.pdf" per i dettagli inerenti all'integrazione dei dati acquisiti.

L'attività di campo, preventivamente pianificata da remoto, si è svolta in data 10 marzo 2020 e ha interessato l'intera tratta dei corsi d'acqua oggetto di studio. Essa ha permesso di approfondire la conoscenza dei corsi d'acqua, rivolgendo particolare attenzione agli elementi idraulici più sensibili nel corso di un evento di piena, quali sezioni critiche e manufatti antropici. Nel dettaglio, ha permesso di:

- Analizzare le caratteristiche fisiche dei corsi d'acqua, identificando la tipologia di alveo e la presenza di vegetazione, per la definizione dei parametri modellistici e le successive analisi. Si riportano in Figura 3.1, Figura 3.2 e Figura 3.3 alcuni scatti effettuati rispettivamente nei pressi del tratto terminale del fiume Roia, nei pressi di località Trucco (fiume Roia), e nei pressi di località Calvo (torrente Bevera).
- Identificare a priori le aree potenzialmente allagabili a partire dall'individuazione delle tracce lasciate dai più recenti eventi di piena.
- Individuare i tratti di corso d'acqua oggetto di potenziale ipotesi di parzializzazione di sezione per la definizione delle fasce di pericolosità idraulica: nonostante tale ipotesi assuma un significato di più generale fattore di sicurezza, lo stesso sarà definito anche con attinenza a ipotesi reali di riduzione della sezione defluente. Per questo motivo, risulta utile un'indagine qualitativa preliminare volta a comprendere se le ipotesi eventualmente adottate possano essere realistiche e verosimili.

Tra le sezioni risultanti più critiche dal punto di vista idraulico si cita quella in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario posto in prossimità del centro di Ventimiglia (sezione idraulica ROI-100), di cui si riporta uno scatto fotografico in Figura 3.4. La sezione mostra infatti due attraversamenti adiacenti e ortogonali al corso d'acqua, con le campate più esterne già interessate da accumulo di materiale fluviale. Le pile in alveo di per sé comportano un apprezzabile restringimento della sezione utile al deflusso ed il rigurgito conseguentemente generato, amplificato nel caso in cui la piena raggiunge l'impalcato, genera a monte del ponte stesso un rallentamento della corrente; tale riduzione di velocità comporta un conseguente possibile deposito di materiale e pertanto una possibile riduzione della sezione defluente che giustificerebbe l'ipotesi di parzializzazione della stessa oltre alla possibilità di accumulo di materiale flottante.

- Verificare la corretta rappresentazione del territorio da parte del DTM in riferimento alla complessità della rete viaria che costeggia il tratto terminale del fiume Roia in sponda sinistra (Strada Statale 20). Questa zona è stata analizzata con particolare attenzione per verificare che il dato topografico distinguesse correttamente tra la presenza di pile e terrapieni, i primi "permeabili" mentre i secondi "impermeabili" alla propagazione dell'onda di piena. A titolo di esempio, si riporta in Figura 3.5 uno scatto effettuato da valle verso monte in prossimità di Via Tenda della Strada Statale 20, in cui risultano evidenti le pile sull'alveo del fiume Roia.
- Verificare la corretta rappresentazione del territorio da parte del DTM in riferimento all'identificazione di sottopassaggi carrabili e pedonali potenzialmente interessati alla propagazione dell'onda di piena la cui mancata rappresentazione nel dominio di calcolo inficerebbe la bontà dei risultati.





Figura 3.1 Scatto fotografico del tratto terminale del fiume Roia effettuato dal Ponte Andrea Doria in direzione foce



Figura 3.2 Scatto fotografico del tratto del fiume Roia in prossimità di località Trucco, effettuato da valle verso monte





Figura 3.3 Scatto fotografico del tratto del torrente Bevera in prossimità di località Calvo, effettuato da valle verso monte



Figura 3.4 Vista da monte verso valle dell'attraversamento ferroviario posto in prossimità del centro di Ventimiglia, in corrispondenza della sezione idraulica ROI-100



Figura 3.5 Scatto fotografico effettuato in prossimità di Via Tenda, vista da valle verso monte della Strada Statale 20, le cui pile insistono sulla sponda sinistra del fiume Roia



## 4 Implementazione del modello idraulico

Nel presente capitolo vengono descritte le attività inerenti all'implementazione della modellistica idraulica atta a simulare i fenomeni che occorrono nel corso di un evento di piena.

La modellistica ha utilizzato, quali informazioni di base, i dati pregressi citati nel precedente Cap. 2 integrati dalle risultanze emerse in sede di sopralluogo così come descritto nel Cap. 3. A partire da questi dati, è stato implementato un modello idraulico basato su uno schema integrato monodimensionale e bidimensionale. Definiti i limiti di interfaccia tra i due domini di calcolo, si è schematizzato con MIKE HYDRO River il modello idraulico dell'alveo inciso dei corsi d'acqua oggetto di studio, fiume Roia e torrente Bevera, in termini di definizione delle sezioni trasversali, degli attraversamenti, della scabrezza idraulica, delle condizioni al contorno e degli altri parametri idrodinamici della modellazione monodimensionale (Par. 4.2); analogamente, per la parte di dominio di studio schematizzata nel modello bidimensionale implementato in MIKE 21, è stata definita la griglia di calcolo e altri parametri idrodinamici quali il passo di integrazione temporale, coefficienti di scabrezza, ecc. (Par. 4.3). Successivamente sono state definite in MIKE FLOOD le strutture di collegamento tra i due modelli 1D e 2D, così come descritto nel Par. 4.4. Infine, nel Par. 4.5, è stato effettuato un confronto tra i risultati della modellistica implementata e quanto riportato sul vigente Piano di Bacino; il confronto non costituisce una calibrazione del modello, quanto più una verifica ponderata di una corretta implementazione dello stesso.

Si precisa che, per entrambi i modelli, si è adottato il Sistema di Coordinate Gauss-Boaga Monte Mario 1 (EPSG: 3003), come da indicazione del Committente.

### 4.1 Approccio modellistico generale

Sull'area in esame è stato messo a punto un modello idrodinamico basato sul codice di calcolo MIKE FLOOD del DHI.

MIKE FLOOD è uno strumento modellistico integrato che permette di accoppiare in maniera dinamica, attraverso un'interfaccia utente grafica, il codice monodimensionale MIKE HYDRO e quello bidimensionale MIKE 21 (per una descrizione sintetica si rimanda agli allegati B.1 e B.2).

Il modulo consente di sfruttare al massimo le potenzialità di MIKE HYDRO e di MIKE 21, facendo intervenire nell'ambito di uno stesso modello l'uno o l'altro codice in funzione delle specifiche esigenze di rappresentazione geometrica e di simulazione necessarie: MIKE HYDRO per la simulazione monodimensionale di tratti di alveo incisi e per il deflusso idrodinamico attraverso ponti, tombini, salti di fondo ecc., MIKE 21 per il deflusso nelle aree golenali o di esondazione e di invaso.

MIKE FLOOD presenta le seguenti caratteristiche principali:

- MIKE HYDRO e MIKE 21 rimangono singoli codici indipendenti l'un l'altro nella messa a punto, nell'interfaccia grafica e nell'input-output;
- una specifica interfaccia grafica consente di definire i collegamenti reciproci e biunivoci di MIKE HYDRO e MIKE 21 per gli scambi di flusso e la congruenza dei livelli idrici di calcolo.

L'alveo dei corsi d'acqua è stato collegato dinamicamente alle aree laterali inondabili mediante speciali funzioni di MIKE FLOOD, nel rispetto delle reali quote di sponda. La modellazione accurata della dinamica di piena, effettuata con approccio bidimensionale, è stata estesa all'intera zona in esame, rappresentata mediante un modello del terreno a celle quadrate di lato 2x2 m, contenente gli edifici e tutte le strutture in grado di avere effetto significativo nella propagazione della piena stessa sul territorio.

Per ciò che concerne le modellazioni in alveo, i risultati delle simulazioni condotte sono forniti sotto forma di tabelle contenenti i principali parametri idraulici sezione per sezione. Relativamente alle aree inondate, invece, i risultati ottenuti sono forniti sotto forma di mappe di tiranti idrici e velocità di scorrimento riferite ai loro valori massimi.

## 4.2 Implementazione del modello monodimensionale

Di seguito si illustra in dettaglio la schematizzazione monodimensionale dei tratti di alveo dei corsi d'acqua analizzati. In aggiunta alla descrizione del setup modellistico, si specificano le scelte e le assunzioni che hanno portato a definire alcune caratteristiche proprie del modello, oltre alle fonti da cui sono state tratte le informazioni associate ai vari aspetti dello stesso.

I tratti dei corsi d'acqua schematizzati con approccio monodimensionale ripercorrono quanto previsto dal presente incarico, in particolare riguardano:

- fiume Roia nel tratto tra ponte Bocche (a monte di località Trucco) e la foce a mare;
- fiume Roia nel tratto in corrispondenza della località Airole;
- torrente Bevera nel tratto tra località Torri e la confluenza con il fiume Roia.

La scelta adottata è stata quella di imbastire un setup modellistico unico comprensivo delle tratte oggetto di studio. Il modello si estende dunque da località Airole a foce, per ciò che concerne il fiume Roia, e da località Torri alla confluenza con il fiume Roia per ciò che riguarda il torrente Bevera.

### 4.2.1 Geometria delle sezioni trasversali

In corrispondenza dei tratti oggetto di studio sono state utilizzate le geometrie delle sezioni trasversali al corso d'acqua così come descritto al Cap. 2, per un totale di oltre 70 sezioni per il fiume Roia e oltre 30 per il torrente Bevera; se ne riporta una traccia planimetrica in Figura 4.1.

Come già accennato, l'utilizzo delle sezioni trasversali è specificatamente riferito a ciò che concerne il letto del fiume e le sue sponde; al di fuori di esse il modello idraulico utilizzerà quale fonte altimetrica il modello digitale del terreno derivante da volo Lidar fornito da Regione Liguria. Per questo motivo quanto recepito dal modello monodimensionale riguarda esclusivamente la parte di alveo compreso tra le sponde. A titolo di esempio si riporta in Figura 4.2 la traccia planimetrica delle sezioni del fiume Roia nel suo tratto terminale e la relativa arginatura sinistra, linea azzurra, e destra, linea verde. In Figura 4.3 si riporta il profilo della sezione ROI-70, con indicazione della sponda sinistra e destra, rispettivamente individuata da marker azzurro e verde, ad indicazione del tratto della sezione oggetto di modellazione monodimensionale.



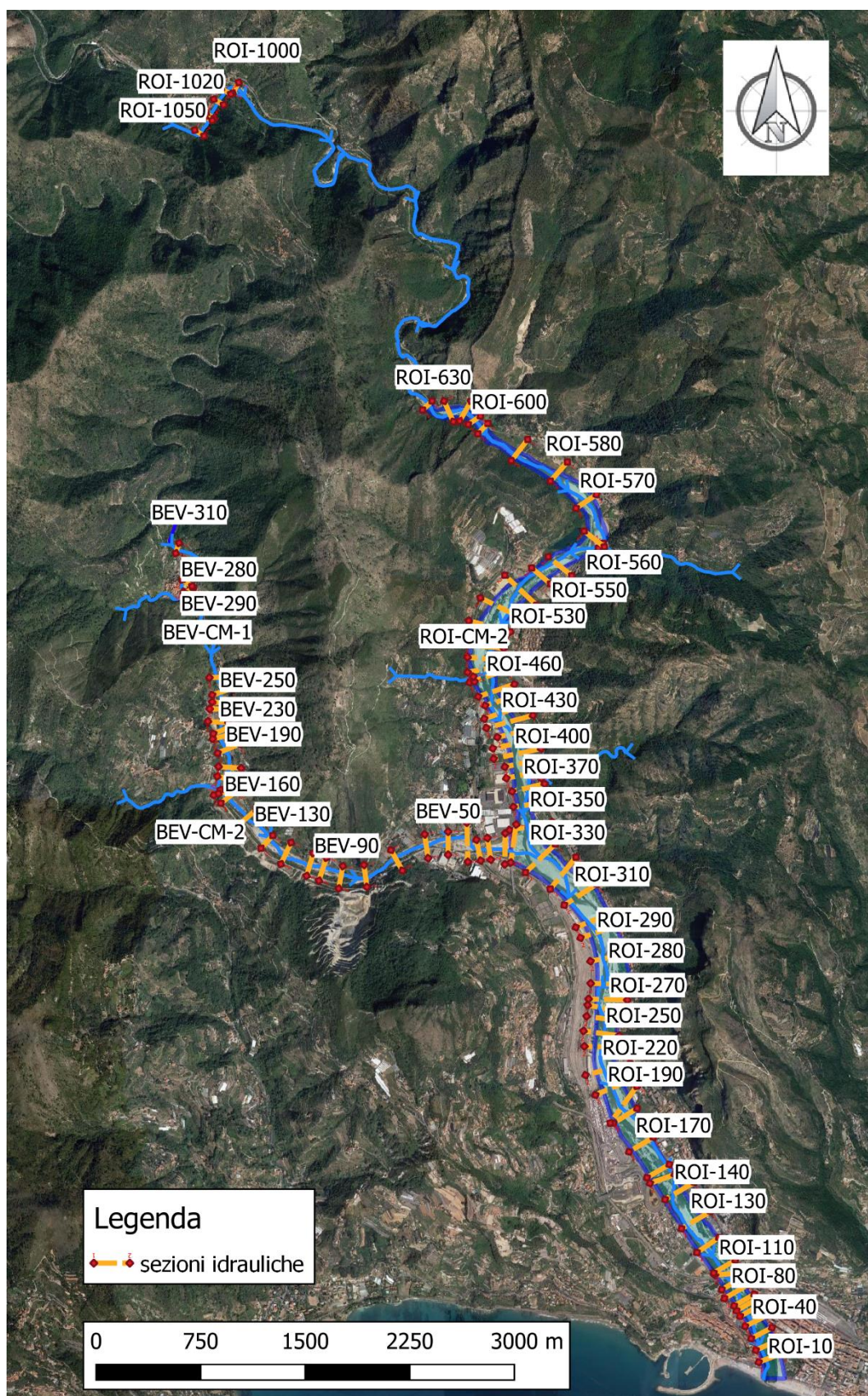


Figura 4.1 Traccia planimetrica delle sezioni idrauliche utilizzate nello studio



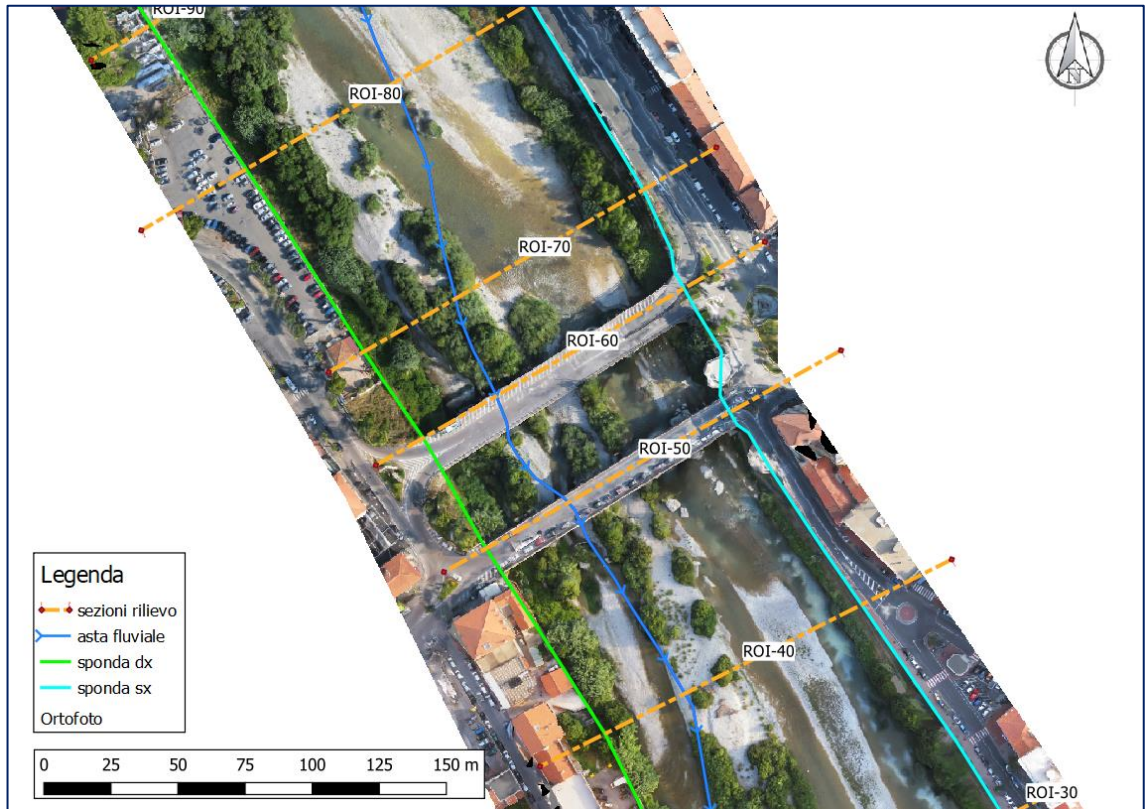


Figura 4.2 Traccia planimetrica delle sezioni idrauliche utilizzate nello studio in linea arancione tratteggiata; in azzurro sponda sinistra, in verde sponda destra

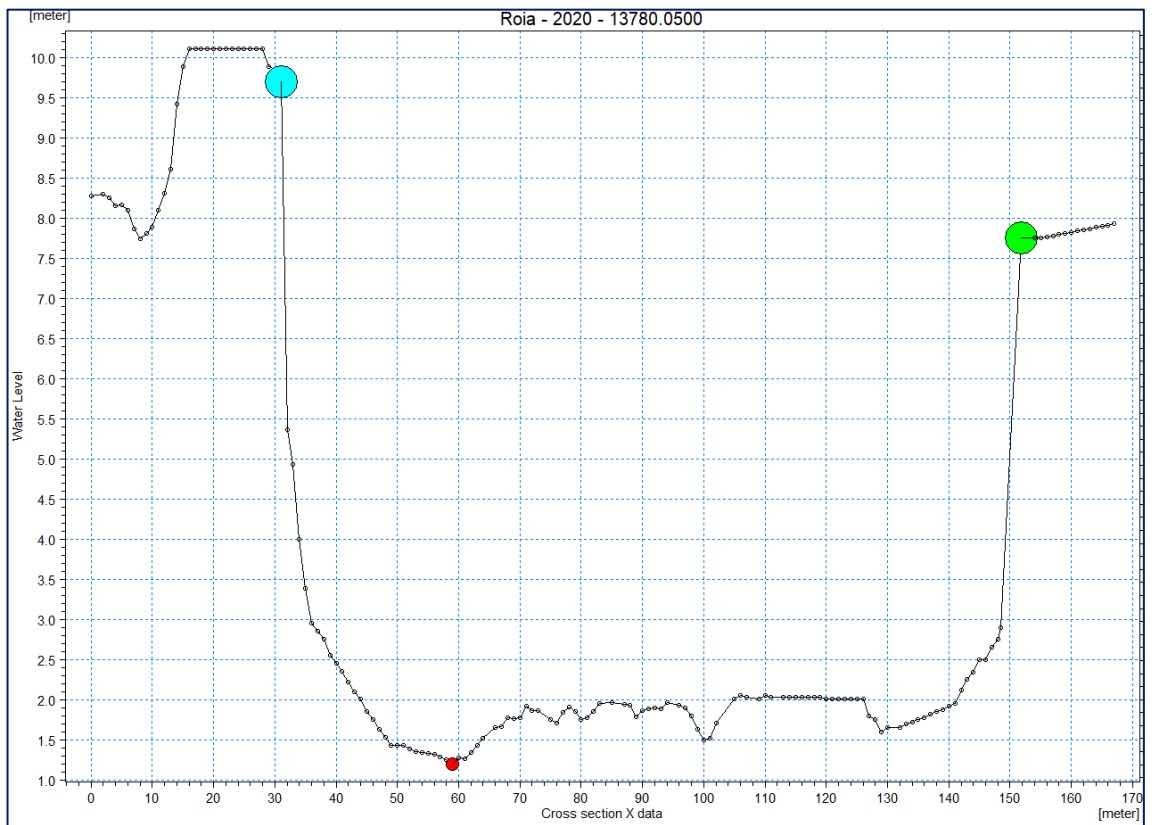


Figura 4.3 Sezione ROI-70 con indicazione della sponda sinistra (marker azzurro) e destra (marker verde) e quota del thalweg (rosso)

Si precisa che, qualora necessario per garantire la stabilità numerica delle simulazioni o per meglio descrivere le geometrie dei corsi d'acqua, sono state aggiunte delle sezioni interpolate a partire dalle sezioni originali. Eccezione è stata fatta per le sezioni poste in prossimità della foce, di indispensabile utilità per la modellazione, per le quali è stato necessario utilizzare il dato Lidar per rappresentarle, in quanto da rilievo l'ultima sezione fornita è situata in prossimità della Passerella pedonale Squarciafichi (ROI-10).

A partire dalla localizzazione planimetrica delle sezioni, sono state determinate le rispettive progressive in base all'intersezione con l'asse del corso d'acqua. Tale aspetto risulta di particolare importanza nel caso in cui, quale lo studio in oggetto, si debba collegare dinamicamente il modello monodimensionale con quello bidimensionale, per cui una non corretta localizzazione planimetrica delle sezioni comporterebbe uno sfasamento e conseguente errato collegamento tra di essi. Per uniformità con i precedenti studi, gli assi dei corsi d'acqua derivano dal reticolo idrografico fornito dalla Committenza.

In Tabella 4.1 e Tabella 4.2 si riportano l'elenco di tutte le sezioni inserite nel modello rispettivamente per il fiume Roia e torrente Bevera.

Tabella 4.1 Tabella delle sezioni trasversali del tratto oggetto di modellazione in MIKE HYDRO del fiume Roia, con indicazione della nomenclatura della sezione e relativa progressiva idraulica

Progr. [m]	SEZ [-]	Progr. [m]	SEZ [-]	Progr. [m]	SEZ [-]
0.00	ROI-1050.1	8954.51	ROI-420	12710.00	ROI-150_v
212.15	ROI-1050_m	9055.74	ROI-410	12839.15	ROI-140
230.15	ROI-1050_v	9137.95	ROI-400	13090.51	ROI-130
346.62	ROI-1040	9216.50	ROI-390	13150.00	ROI-130.1
363.43	ROI-1030_m	9291.40	ROI-380	13299.03	ROI-120
373.43	ROI-1030_v	9373.21	ROI-370	13468.00	ROI-110.1
485.95	ROI-1020	9468.59	ROI-360_m	13493.07	ROI-110
579.33	ROI-1010	9482.59	ROI-360_v	13537.90	ROI-100_m
657.43	ROI-1000	9607.98	ROI-350	13560.00	ROI-100_v
5391.91	ROI-640	9767.85	ROI-340	13600.00	ROI-90.1
5593.00	ROI-630_m	9958.00	ROI-330.1	13630.72	ROI-90
5601.00	ROI-630_v	10023.98	ROI-330	13696.03	ROI-80
5722.00	ROI-620	10221.68	ROI-320	13698.00	ROI-80.1
5817.79	ROI-610	10436.99	ROI-310	13773.80	ROI-70.1
5904.20	ROI-600	10636.73	ROI-300	13780.05	ROI-70
6215.53	ROI-590	10730.95	ROI-290	13811.56	ROI-60_m
6541.91	ROI-580	10890.00	ROI-280.1	13827.56	ROI-60_v
6841.30	ROI-570	10930.82	ROI-280	13861.00	ROI-50_m
7003.00	ROI-560.1	11121.07	ROI-270	13877.00	ROI-50_v
7198.90	ROI-560	11236.00	ROI-260_m	13901.00	ROI-40.1
7565.56	ROI-550	11248.00	ROI-260_v	13953.03	ROI-40
7714.42	ROI-540	11311.37	ROI-250	14010.00	ROI-30.2
7891.47	ROI-530	11400.21	ROI-240	14014.00	ROI-30.1
8076.18	ROI-520	11510.01	ROI-230	14052.36	ROI-30
8221.21	ROI-510	11605.69	ROI-220	14144.67	ROI-20
8308.91	ROI-500	11779.68	ROI-210	14229.00	ROI-10.1
8372.26	ROI-490	11918.37	ROI-200	14231.50	ROI-10_m
8461.86	ROI-480	12070.00	ROI-190_m	14237.26	ROI-10_v
8521.20	ROI-470	12084.00	ROI-190_v	14257.00	ROI-10.2
8573.45	ROI-460	12147.93	ROI-180	14281.63	ROI-BC.1
8699.25	ROI-450	12389.57	ROI-170	14381.00	ROI-BC
8783.88	ROI-440	12616.13	ROI-160		
8874.23	ROI-430	12680.00	ROI-150_m		

Tabella 4.2 Tabella delle sezioni trasversali del tratto oggetto di modellazione in MIKE HYDRO del torrente Bevera, con indicazione della nomenclatura della sezione e relativa progressiva idraulica

Progr. [m]	SEZ [-]	Progr. [m]	SEZ [-]	Progr. [m]	SEZ [-]
0.00	BEV-310.5	1588.00	BEV-250	3165.28	BEV-110
52.23	BEV-310.4	1663.00	BEV-240	3265.92	BEV-100
96.28	BEV-310.3	1709.00	BEV-230	3405.58	BEV-90
168.51	BEV-310.2	1804.47	BEV-220	3586.41	BEV-80
217.47	BEV-310_m	1862.45	BEV-210_m	3847.95	BEV-70
221.47	BEV-310_v	1868.45	BEV-210_v	4090.57	BEV-60
260.27	BEV-310.1	1911.89	BEV-200	4258.54	BEV-50
477.13	BEV-300	2012.44	BEV-190	4396.69	BEV-40
622.73	BEV-290	2145.26	BEV-180	4515.43	BEV-30_m
713.91	BEV-280-p_m	2229.06	BEV-170	4532.09	BEV-30_v
719.91	BEV-280-p_v	2329.45	BEV-160_m	4602.61	BEV-20
730.82	BEV-280	2338.92	BEV-160_v	4716.75	BEV-10
844.68	BEV-270	2368.93	BEV-150	4760.00	BEV-10bis_m
1004.13	BEV-270.1	2567.88	BEV-140	4778.00	BEV-10bis_v
1292.70	BEV-260.1	2796.59	BEV-130		
1475.28	BEV-260	2965.37	BEV-120		

#### 4.2.2 Strutture implementate

Nel tratto fluviale indagato sono presenti numerose opere idrauliche che interferiscono con il regolare deflusso delle acque, quali passerelle pedonali e ponti stradali e ferroviari.

Nel tratto modellato presso località Airole ritroviamo, da monte verso valle, il ponte sulla S.S 20 di valle Roia e del Colle di Tenda e il Ponte Rovere Nuovo, sulla provinciale statale n. 20 Collabassa. In realtà, subito a monte di quest'ultimo è anche presente il Ponte Rovere Antico, il quale però non è stato inserito nella modellazione in quanto ritenuto di trascurabile impatto, rispetto all'attraversamento adiacente, sulle condizioni di deflusso.

Lungo il fiume Roia, da località Trucco fino a foce ritroviamo: il Ponte ferroviario Bocche (loc. Trucco), il Ponte Roia (loc. Bevera), Ponte Antonio Aniante, il ponte al raccordo autostradale, il viadotto Roia (autostrada dei Fiori), i due ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo, Ponte Cassini, Ponte Andrea Doria ed infine la Passerella pedonale Squarciafichi.

Lungo il torrente Bevera, da località Torri fino alla confluenza con il fiume Roia ritroviamo: la passerella carrabile sopra località Torri, il ponte stradale di località Torri, ponte stradale in località Calvi, il ponte di Via Umberto Lorenzi in località Calvi, il ponte ferroviario in località Bevera e nei pressi della confluenza con il fiume Roia il Ponte Bevera.

Le strutture citate, elencate in Tabella 4.3, sono state implementate in MIKE HYDRO come *combined structures*, ossia come strutture composte da una tombinatura per simulare la corrente in pressione e da uno stramazzo per simulare il passaggio dell'acqua al di sopra dei manufatti. Qualora l'impalcato risultasse ad una quota decisamente sopraelevata rispetto al piano campagna limitrofo, le strutture sono state inserite a luce libera.



Tabella 4.3 Tabella degli attraversamenti schematizzati nel modello MIKE HYDRO, con indicazione di: corso d'acqua di interesse, nomenclatura della sezione a cui è associato l'attraversamento, relativa progressiva idraulica, quota dell'intradosso e breve descrizione dell'opera

Corso d'acqua	SEZ.	Progr. [-]	Quota intradosso [m s.l.m.]	Descrizione
F. Roia	ROI-1050	221.00	105.40	Ponte sulla S.S 20 di valle Roia e del Colle di Tenda
F. Roia	ROI-1030	368.00	91.85	Ponte Rovere Nuovo
F. Roia	ROI-630	5597.00	62.60	Ponte ferroviario Bocche
F. Roia	ROI-360	9475.00	28.66	Ponte Roia
F. Roia	ROI-260	11242.00	19.80	Ponte Antonio Aniante
F. Roia	ROI-190	12077.00	17.25	Ponte al raccordo autostradale
F. Roia	ROI-150	12695.00	20.60	Viadotto Roia (autostrada dei Fiori)
F. Roia	ROI-100	13549.00	7.60	Ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo
F. Roia	ROI-60	13819.00	7.54	Ponte Cassini
F. Roia	ROI-50	13869.00	7.58	Ponte Andrea Doria
F. Roia	ROI-10	14235.00	3.23	Passerella pedonale Squarciafichi
T. Bevera	BEV-310	219.47	70.65	Passerella carrabile sopra loc. Torri
T. Bevera	BEV-280-p	716.91	64.10	Ponte stradale di loc. Torri
T. Bevera	BEV-210	1865.45	54.91	Ponte stradale in loc. Calvi
T. Bevera	BEV-160	2334.00	48.42	Ponte di Via Umberto Lorenzi in loc. Calvi
T. Bevera	BEV-30	4523.00	32.75	Ponte ferroviario in loc. Bevera
T. Bevera	BEV-10bis	4770.00	30.52	Ponte Bevera

### 4.2.3 Scabrezza idraulica

La scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito di scorrimento sul fondo e sulle sponde dell'alveo attivo. Tale parametro è difficilmente valutabile con precisione ed è abitualmente utilizzato per tarare il modello.

Per la stima del parametro si è fatto riferimento alle seguenti fonti informative:

- Regolamento Regionale del 14 luglio 2011, n. 3 (Allegato 1);
- Piano di Bacino vigente del fiume Roia, già citato nel Cap. 2;
- sopralluogo in situ.

Secondo le indicazioni del Regolamento Regionale del 14 luglio 2011, n. 3, Regolamento recante disposizioni in materia di tutela delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua, in particolare quanto specificato nell'Allegato 1 "Indirizzi tecnici per la redazione di studi idraulici", i valori da adottare per il coefficiente di scabrezza devono far riferimento a quanto definito nella seguente Tabella 4.4. Come specificato nel documento, tali valori devono rappresentare dei limiti superiori, da ridurre opportunamente in presenza ad esempio di forte apporto di sedimenti dai versanti oppure di macroresistenze al deflusso delle piene.

Tabella 4.4 Valori di riferimento del parametro di scabrezza secondo R.R n. 3 del 14 luglio 2011 – Allegato 1

Descrizione corso d'acqua	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler Ks [ $m^{1/3} s^{-1}$ ]
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

Il vigente Piano di Bacino del fiume Roia è in linea con quanto definito dal R.R n. 3 del 14 luglio 2011. Nello specifico, per il tratto di interesse definisce i seguenti coefficienti di scabrezza:

- fiume Roia a monte della confluenza con il torrente Bevera =  $30 [m^{1/3}s^{-1}]$ ;
- fiume Roia a valle della confluenza con il torrente Bevera =  $35 [m^{1/3}s^{-1}]$ ;
- torrente Bevera =  $30 [m^{1/3}s^{-1}]$ .

Sulla base del sopralluogo eseguito, si confermano i coefficienti di scabrezza già definiti per il torrente Bevera e per il fiume Roia a monte della confluenza con esso nel vigente Piano di Bacino. Tuttavia, date le caratteristiche dell'alveo, si ritiene più opportuno adottare lo stesso coefficiente anche per il tratto di valle del Roia.

#### 4.2.4 Condizioni al contorno

Un modello idraulico ha necessità che siano specificate le condizioni al contorno per la definizione della forzante, tipicamente portata liquida, e del comportamento del deflusso al termine del tratto in esame.

La forzante deve essere obbligatoriamente fornita in corrispondenza della prima sezione del tratto, condizione di monte e opzionalmente lungo segmenti longitudinali, condizione distribuita. La condizione di valle, invece, è costituita generalmente da un livello di pelo libero, costante o tempo-variante, o da una tabella di corrispondenza livello-portata, scala di deflusso.

Nel seguito si riportano le condizioni al contorno applicate ai corsi d'acqua analizzati.

##### Condizione di monte

Per la definizione delle condizioni a contorno di monte si fa riferimento allo studio idrologico condotto dall'Università di Genova - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA), così come già anticipato nel Cap. 2.

Lo studio idrologico fornisce gli idrogrammi di portata per i tempi di ritorno 50, 200 e 500 anni per le sezioni più significative del bacino idrografico del fiume Roia, indicate in Figura 4.4.

Legenda

- ▲ Sezioni fluviali investigate
- Limite bacino
- Reticolo idrografico

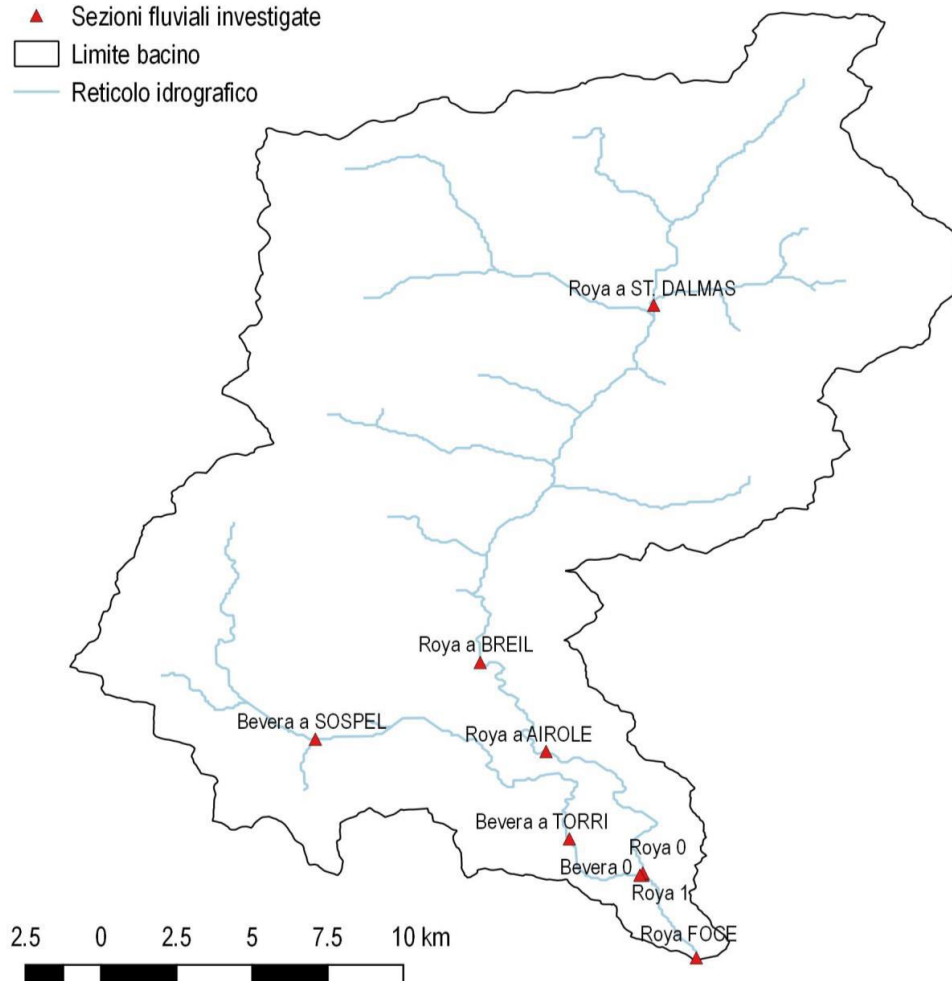


Figura 4.4 Localizzazione delle sezioni oggetto di indagine idrologica per il bacino del fiume Roia

Per ognuna delle sezioni rappresentate in Figura 4.4 e per ogni tempo di ritorno, sono stati forniti 20 idrogrammi derivanti da eventi di precipitazioni di diversa durata ma ugual tempo di ritorno, prodotti da un assetto meteorologico caratterizzato dall'invarianza di scala.

L'ensemble degli idrogrammi equivalenti T-ennali è caratterizzato da idrogrammi di piena con portata al colmo e volumi diversi tra loro; se ne riporta un esempio in Figura 4.5 relativo alla sezione di chiusura del bacino del Roia estratta dalla citata relazione idrologica.

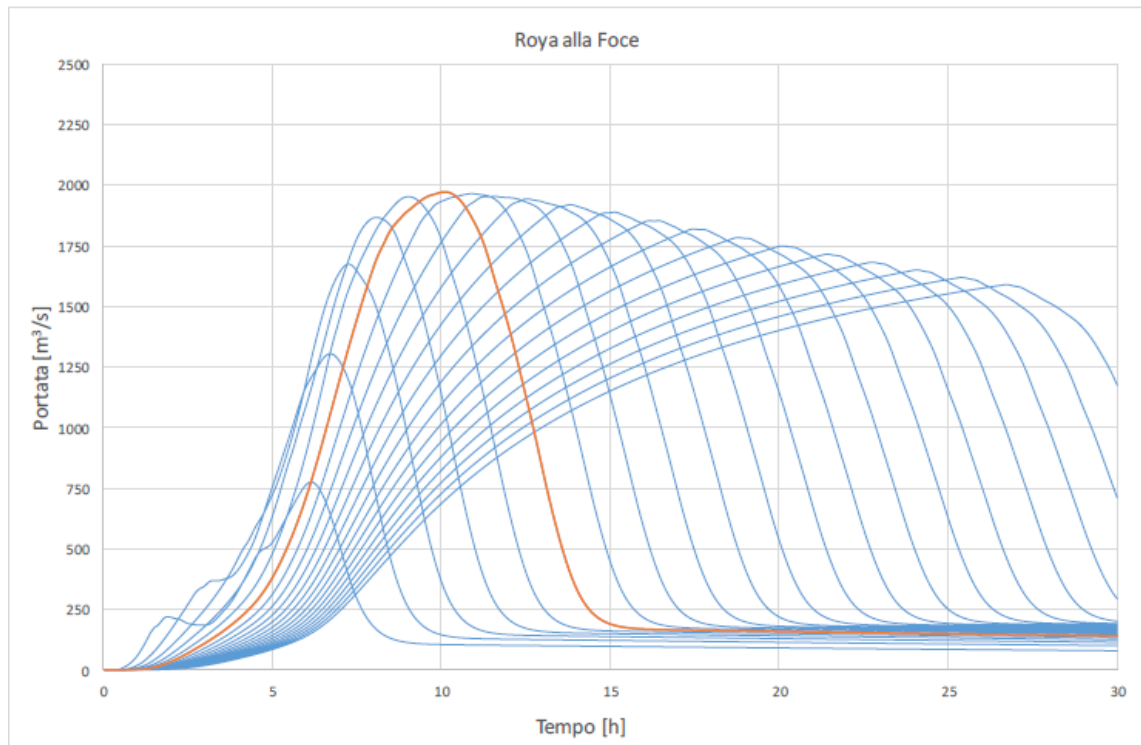


Figura 4.5 Sequenza degli idrogrammi di piena valutati alla sezione terminale del bacino del Roia corrispondenti ad un tempo di ritorno  $T = 200$  anni. L'idrogramma indicato in arancione corrisponde all'evento che produce il valore massimo della portata al colmo.

L'ensemble di idrogrammi può essere utilizzato in riferimento alla metodologia proposta nelle linee guida regionale (DGR Regione Liguria 359/2008), secondo cui, nota la soglia di esondazione  $q_0$  (assunta per semplicità costante) è possibile stimare il massimo volume di esondazione ( $MaxV | q_0$ ) condizionato a quella soglia desunta dalle condizioni di deflusso in quella specifica sezione d'alveo.

Si riportano in Figura 4.6, per ognuna delle sezioni dello studio idrologico, i quantili di portata al colmo di piena determinati dall'evento critico che si realizza per la particolare pioggia di durata critica.

Area [km <sup>2</sup> ]	671	661	503	481	461	167	159	149	79
T [anni]	$Q_{Roya_{Foce}}$	$Q_{Roya_1}$	$Q_{Roya_0}$	$Q_{Roya_{Airole}}$	$Q_{Roya_{Breil}}$	$Q_{Roya_{StDalmas}}$	$Q_{Bevera_0}$	$Q_{Bevera_{Torri}}$	$Q_{Bevera_{Sospel}}$
2	334	332	251	246	242	95	81	76	44
5	586	582	443	440	435	174	144	136	80
10	791	787	606	602	597	241	197	186	111
20	1017	1012	787	784	778	318	256	242	147
50	1355	1352	1062	1058	1052	434	344	327	200
100	1645	1645	1295	1292	1287	536	419	400	247
200	1974	1973	1556	1553	1547	646	502	480	298
500	2447	2447	1935	1931	1923	811	624	598	375

Figura 4.6 Quantili di portata al colmo estratti dallo studio idrologico del DICCA – Università degli Studi di Genova

In prima battuta, si è scelto di utilizzare lo scenario idrologico risultante nel più elevato valore di portata al colmo per la sezione di chiusura del fiume Roia. In particolare, sono stati selezionati i rispettivi scenari:

- Per la portata con tempo di ritorno 50 anni lo scenario 9;
- Per la portata con tempo di ritorno 200 anni lo scenario 6;

- Per la portata con tempo di ritorno 500 anni lo scenario 6.

Si riportano in Tabella 4.5 le portate di picco per le sezioni idrologiche ricadenti nel dominio di analisi mentre in Figura 4.7, Figura 4.8, Figura 4.8 i relativi idrogrammi per i tempi di ritorno rispettivamente di 50, 200 e 500 anni.

Come indicato nella relazione idrologica, i valori al picco risultanti dallo studio stesso risultano differire da quanto attualmente indicato nel vigente Piano di Bacino; in particolare:

- Per il torrente Bevera, lo studio idrologico effettuato dal DICCA mette in luce differenze sostanziali che, come riporta lo studio stesso: “Tale differenza è imputabile nuovamente al modello idrologico utilizzato per la determinazione dei quantili di portata al colmo nel Piano di Bacino. Nello specifico, per il sottobacino del Bevera si è fatto riferimento alla curva di crescita regionale dei quantili di portata riportata nello studio CIMA - “Caratterizzazione delle precipitazioni intense e delle portate di piena per i bacini liguri” (Luglio 1999) ai fini della determinazione del fattore di crescita mentre per la valutazione della portata indice è stata utilizzata la serie di 17 anni di misurazioni dedotte dagli “Annali Idrologici” per la stazione di Ciara e Torri. Tenuto conto della limitatezza della serie storica nonché del periodo di osservazione (compreso tra il 1937 ed il 1975) è stato utilizzato un fattore moltiplicativo di sicurezza pari a 2.31. Nel caso del sottobacino del Bevera non è stata condotta pertanto nessuna modellazione idrologica di dettaglio a differenza di quanto effettuato nel presente studio in cui il comportamento idrologico del Bacino del Roia è stato simulato con un’elevata risoluzione spazio-temporale come descritto nei paragrafi precedenti”.

A titolo d’esempio, si ricorda che la portata al colmo per l’evento con tempo di ritorno 500 anni nel vigente Piano alla sezione idrologica di Torri corrisponde a 579 m<sup>3</sup>/s, mentre dallo studio aggiornato, per la medesima sezione, questo valore è prossimo alla portata con tempo di ritorno 50 anni, corrispondente a 598 m<sup>3</sup>/s.

- Per il fiume Roia, i risultati dello studio aggiornato mostrano valori al picco più severi rispetto ai valori riportati nel Piano di Bacino. A titolo di esempio, facendo riferimento ai quantili di portata al colmo rispettivamente di T = 200 anni e T = 500 anni ottenuti nell’ambito del presente studio, si osserva che i valori riportati nel Piano di Bacino sono inferiori del 14% per T=200 anni e del 18% per T = 500.

Tabella 4.5 Quantili di portata al colmo estratti dallo studio del DICCA – Università degli Studi di Genova - per gli scenari simulati per la determinazione delle aree allagabili

T [anni]	Q_Foce [m <sup>3</sup> /s]	Q_Roya1 [m <sup>3</sup> /s]	Q_Bevera0 [m <sup>3</sup> /s]	Q_Roya0 [m <sup>3</sup> /s]	Q_Airole [m <sup>3</sup> /s]	Q_Torri [m <sup>3</sup> /s]
50 (Scenario 9)	1354.70	1350.41	341.96	1030.93	1024.85	323.21
200 (Scenario 6)	1973.57	1972.86	500.40	1544.94	1541.31	479.92
500 (Scenario 6)	2447.40	2446.67	623.84	1907.52	1903.77	598.18

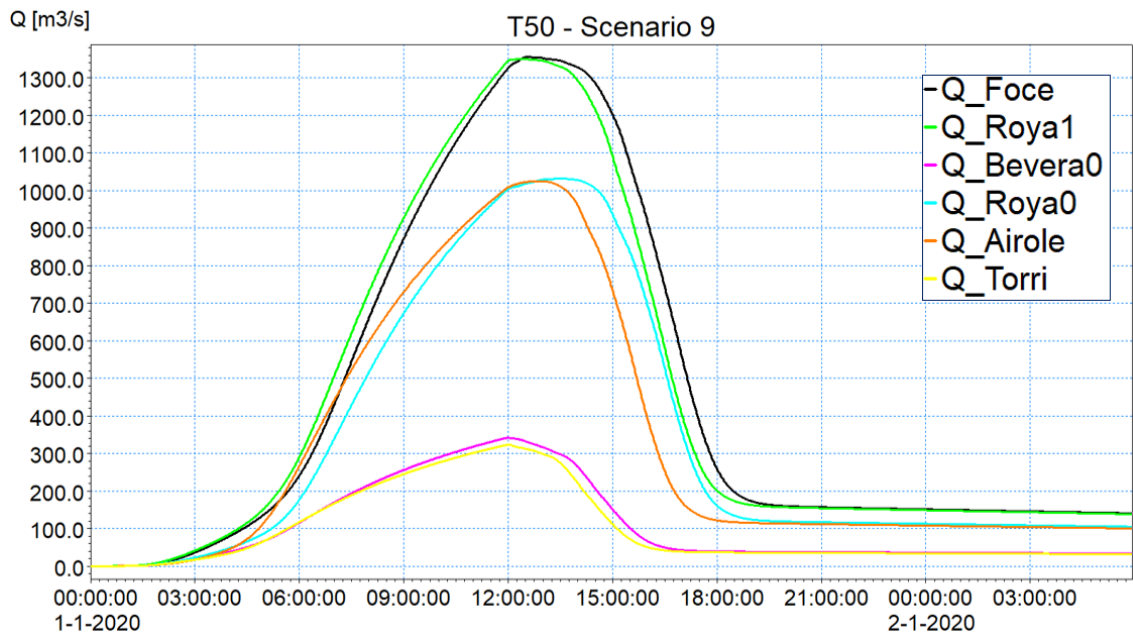


Figura 4.7 Idrogrammi delle sezioni idrologiche oggetto di studio per tempo di ritorno 50 anni derivanti dallo scenario idrologico n. 9

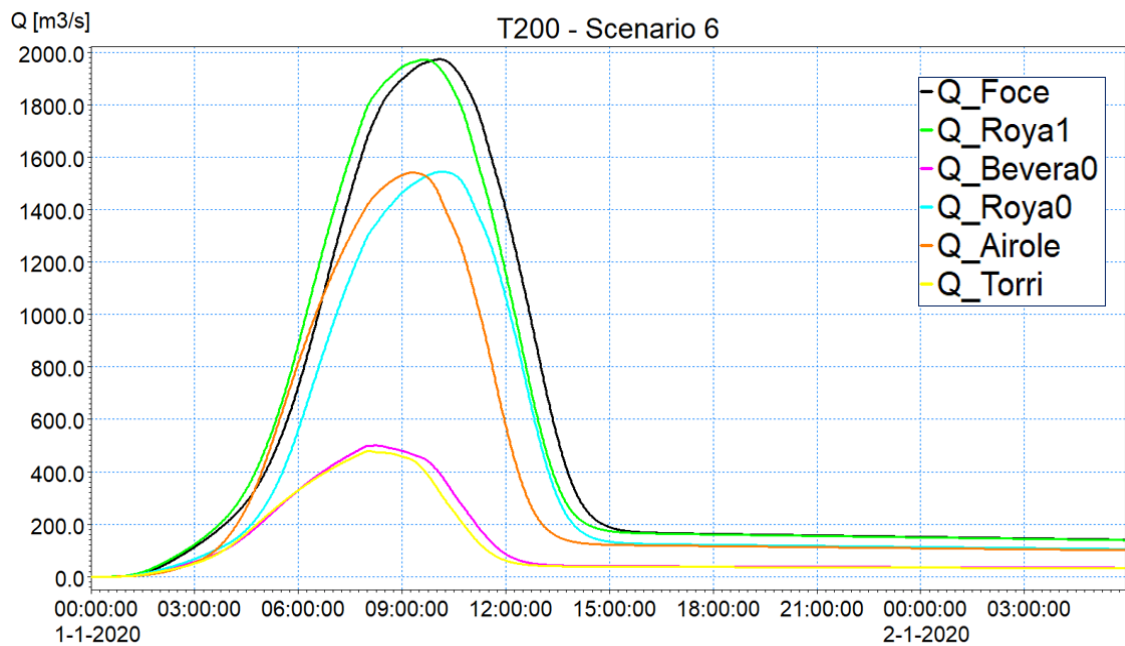


Figura 4.8 Idrogrammi delle sezioni idrologiche oggetto di studio per tempo di ritorno 200 anni derivanti dallo scenario idrologico n. 6



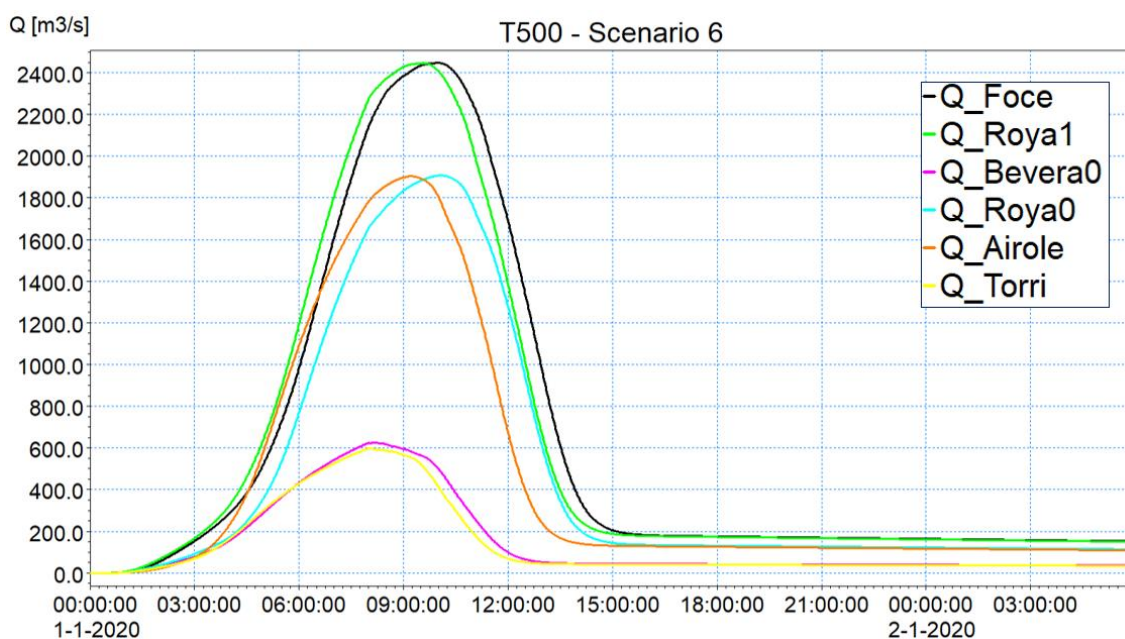


Figura 4.9 Idrogrammi delle sezioni idrologiche oggetto di studio per tempo di ritorno 500 anni derivanti dallo scenario idrologico n. 6

Si precisa che, sebbene sia stato implementato un unico modello per il fiume Roia e torrente Bevera, le simulazioni per i diversi tempi di ritorno sono state eseguite in modo distinto per l'uno e l'altro corso d'acqua per garantire che venissero rispettate le caratteristiche idrologiche degli eventi di piene risultanti dallo studio del DICCA.

Di seguito viene descritta la procedura adottata per i singoli corsi d'acqua.

- Torrente Bevera

Lunga l'asta oggetto di modellazione idraulica sono presenti due sezioni idrologiche per le quali sono disponibili gli idrogrammi per i diversi tempi di ritorno: Bevera a Torri, in prossimità di località Torri, e Bevera0, subito a monte della confluenza con il fiume Roia.

Per ogni tempo di ritorno, è stato utilizzato l'idrogramma di Bevera a Torri quale condizione a contorno di monte al modello, mentre è stata assegnata una portata distribuita su tutto il corso d'acqua tale per cui in prossimità della confluenza con il Roia venisse riprodotto l'idrogramma Bevera0. La portata defluente nel fiume Roia nel corso di queste simulazioni è stata assunta pari alla portata con tempo di ritorno 50 anni.

- Fiume Roia – Loc. Airole

Nei pressi di località Airole, per i diversi tempi di ritorno, sono stati utilizzati gli idrogrammi corrispondenti alla sezione idrologica Airole.

- Fiume Roia – da loc. Trucco a foce

Lungo questo tratto del fiume Roia, per i diversi tempi di ritorno, sono stati applicati gli idrogrammi denominati Roia0 in prossimità di località Trucco, tarando opportunamente gli stessi affinché risultassero conformi con il risultato dello studio idrologico. In corrispondenza della confluenza del torrente Bevera è stato introdotto un idrogramma tale per cui venisse riprodotto, a valle della confluenza, l'idrogramma denominato Roia1. Tra le sezioni Roia1 e Roia\_foce è stato introdotto un modesto input di portata tale da riprodurre fedelmente l'idrogramma in prossimità della foce.

### Condizione di valle

La condizione di valle consente di modellare il deflusso in corrispondenza dell'ultima sezione del modello idrodinamico monodimensionale. Nel caso specifico tale condizione risulta impostata in prossimità dello sbocco a mare del fiume Roia, dove è stato fissato un livello del mare pari a 0.5 m s.l.m. per l'intero set di simulazioni. Tale valore è stato scelto a valle di una specifica analisi di sensitività dove sono stati comparati diversi livelli del pelo libero del mare, in un intervallo da 0 a 2 m s.l.m. L'analisi ha mostrato come la scelta di questo valore sia ininfluente nella definizione delle aree allagabili, in quanto l'esondazione provocata nel tratto terminale del corso d'acqua è imputabile agli elementi antropici, quali attraversamenti, presenti in quest'area, come verrà ampiamente discusso nei capitoli seguenti.

## 4.3 Implementazione del modello bidimensionale

Una volta definito il modello idrodinamico monodimensionale del fiume Roia e del torrente Bevera, la modellazione si è rivolta alle aree allagabili limitrofe, passando quindi al codice di calcolo bidimensionale MIKE 21.

Come descritto a seguire, il lavoro principale si è concentrato sulla corretta definizione della topografia del territorio in analisi, essenziale per ottenere la massima precisione nella rappresentazione delle aree allagabili.

Al fine di rappresentare correttamente la propagazione dell'onda di piena nel territorio limitrofo a un corso d'acqua, nel corso di un evento alluvionale, è necessario che il modello idraulico rappresenti quanto più fedelmente possibile la topografia della zona, comprensiva anche di tutti gli elementi che possono interferire con la dinamica del volume esondato. A tal proposito, risulta fondamentale che vengano inclusi nel modello idraulico sia elementi sovramontanti quali ad esempio edifici, muri continui, terrapieni, ecc., che sottomontanti, quali ad esempio canali di scolo. Degli edifici, normalmente con altezze superiori ai 3 metri, è fondamentale rappresentare prevalentemente l'ingombro, degli altri elementi è invece importante rappresentare la quota altimetrica, quindi indipendentemente dalla risoluzione spaziale della cella di calcolo.

### 4.3.1 Costruzione della griglia di calcolo

La modellazione bidimensionale del terreno in MIKE 21 avviene attraverso la definizione di una griglia di calcolo, composta da celle quadrate di dimensione predefinita. Ad ogni cella viene assegnato il valore medio di quota del terreno corrispondente. Tale valore è usualmente calcolato a partire dai dati rilevati mediante tecniche di interpolazione.

Nel presente caso di studio, il dato di partenza per la generazione della griglia di calcolo è stato il DTM Lidar predisposto dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare rielaborato da Regione Liguria. Il rilievo, fornito in serie di tavolette, è composto da celle di dimensione 1x1 metro e sistema di riferimento Gauss Boaga. Si riporta in Figura 4.10 il DTM complessivamente ottenuto dall'unione delle stesse.



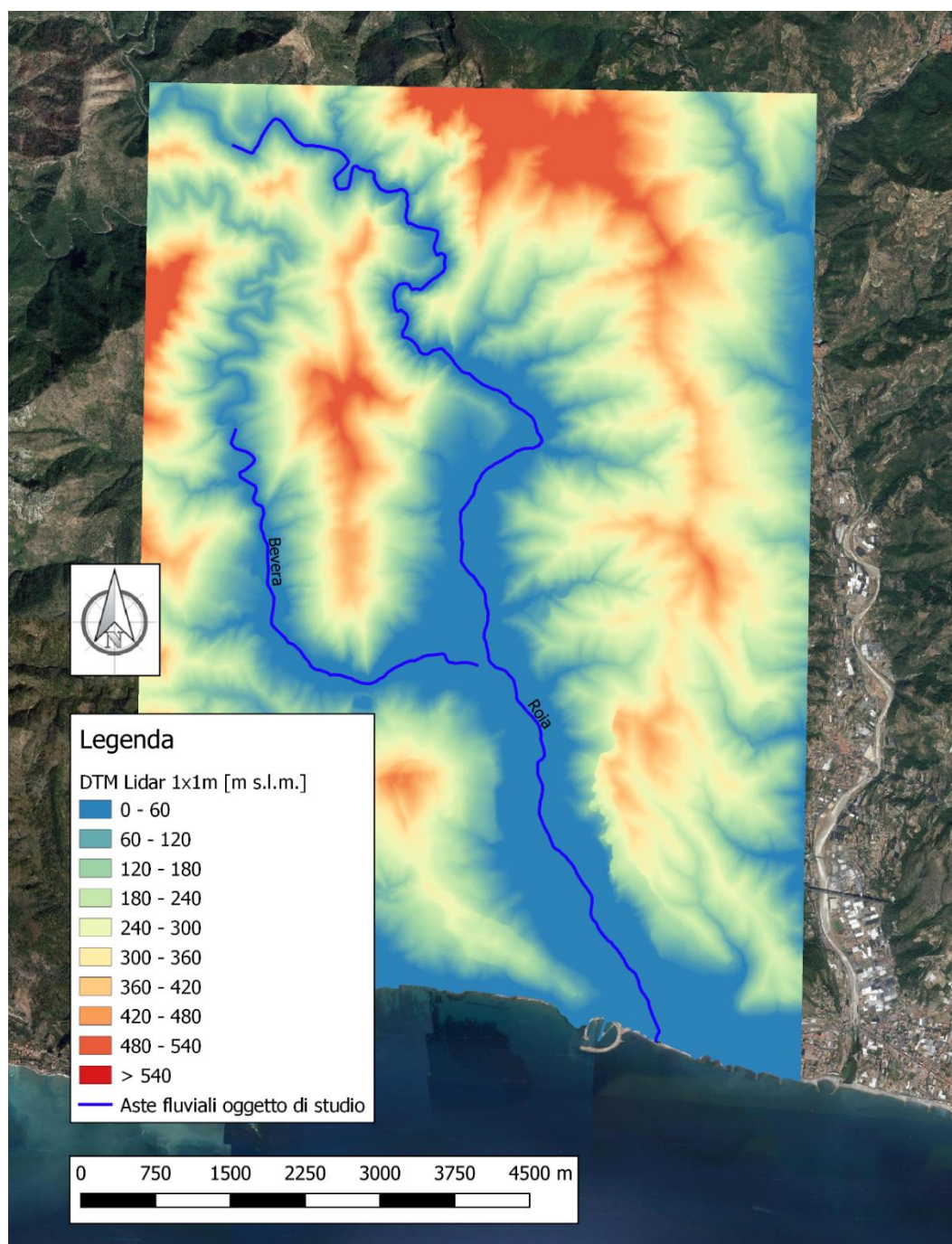


Figura 4.10 Estensione del DTM a copertura del dominio di studio ottenuto dall'unione delle tavole fornite da Regione Liguria con risoluzione 1m; in blu sono riportate le aste idrauliche del fiume Roia e torrente Bevera oggetto di studio

Considerando l'estensione significativa dell'area di studio, pari a circa 6.5 x 10 km, si è ritenuto opportuno ricampionare la griglia di calcolo a risoluzione minore rispetto al DTM, cercando in questo modo di ottimizzare le performance del modello in termini di tempi di calcolo senza rinunciare alla precisione necessaria per questo tipo di studio. Il DTM è stato dunque ricampionato in modo da ottenere celle di dimensione 2x2 metri.

Il ricampionamento è stato effettuato svolgendo un'operazione di media tra le celle, ad eccezione di quelle corrispondenti a specifici elementi geografici, sovramontanti e sottomontanti, per i quali è stato considerato rispettivamente il valore massimo e minimo tra le celle.

Gli elementi sovramontanti identificati sono in primo luogo le zone spondali, poste a confine tra i modelli monodimensionale e bidimensionale, selezionate al fine di considerare le corrette quote delle sponde del corso d'acqua. Quali elementi sottomontanti sono stati invece considerati i corsi d'acqua appartenenti al reticolo secondario, al fine di non sottostimarne la capacità di invaso e di propagazione degli allagamenti del corso d'acqua principale.

In un secondo momento, il dato topografico è stato corretto localmente affinché venissero rappresentate tutte le vie di deflusso potenzialmente interessate dalla propagazione dell'onda di piena. La presenza di sottopassaggi carrabili o pedonali non è sempre identificata correttamente nel prodotto DTM, nonostante esse costituiscano una reale via di passaggio per l'acqua esondata. Grazie all'analisi incrociata tra immagini satellitari, CTR e sopralluogo queste sono state identificate ed inserite nella topografia del modello. Si riporta un esempio in Figura 4.11.

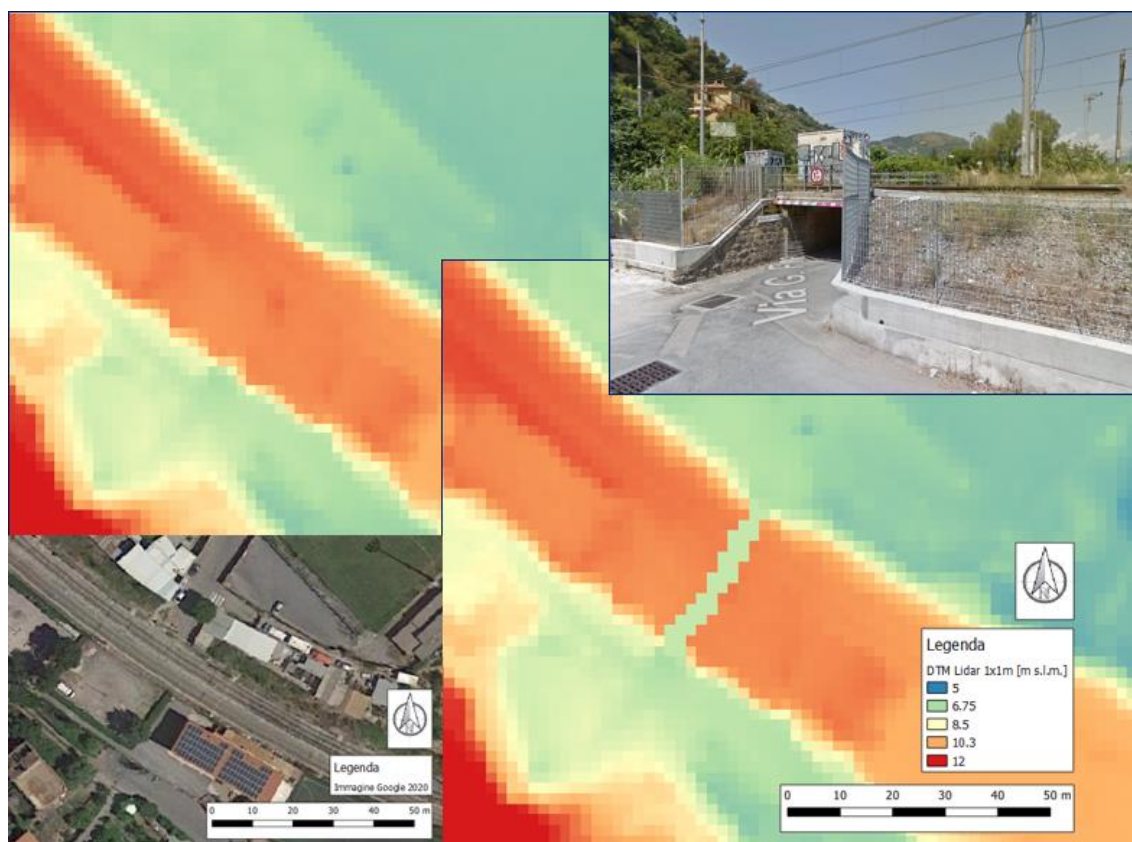


Figura 4.11 Esempio di correzione locale del DTM per rappresentare i sottopassaggi. In alto a sinistra il dato grezzo, in basso a destra il dato corretto con rappresentazione del sottopasso di Via G. Freccero. In basso a sinistra l'immagine satellitare della zona; in alto a destra l'immagine del sottopasso carrabile

Tra le operazioni svolte sul DTM, vi è la verifica che esso rappresenti correttamente i tratti spondali, conformemente a quando derivante da rilievo topografico a terra. Questa verifica è indispensabile per garantire la corretta simulazione dell'esonazione, dal modello monodimensionale al bidimensionale e viceversa. In alcuni casi, come nel tratto terminale sinistro del fiume Roia, si è dovuto ricorrere ad una correzione manuale del dato, in quanto le sponde non sono correttamente rappresentate. Si riporta in Figura 4.12 un esempio di quanto detto: in alto a sinistra l'ortofoto della zona esaminata corrispondente a Lungo Roia Gerolamo Rossi, in prossimità di Via Roma; nell'immagine è evidente la linea azzurra, che individua la sponda sinistra del fiume Roia; la stessa sponda è identificabile nell'immagine in basso a destra dove è riportato il dato Lidar; in alto a destra è riportata il profilo altimetrico della sezione ortogonale al corso d'acqua, rappresentata in rosso. In basso a sinistra un'immagine scattata da monte verso valle della zona esaminata. È evidente come il dato Lidar non identifichi correttamente né il ciglio spondale né la passeggiata pedonale adiacente alla via, che sono stati



inevitabilmente corretti manualmente sulla base delle informazioni delle celle adiacenti e del rilievo a terra.

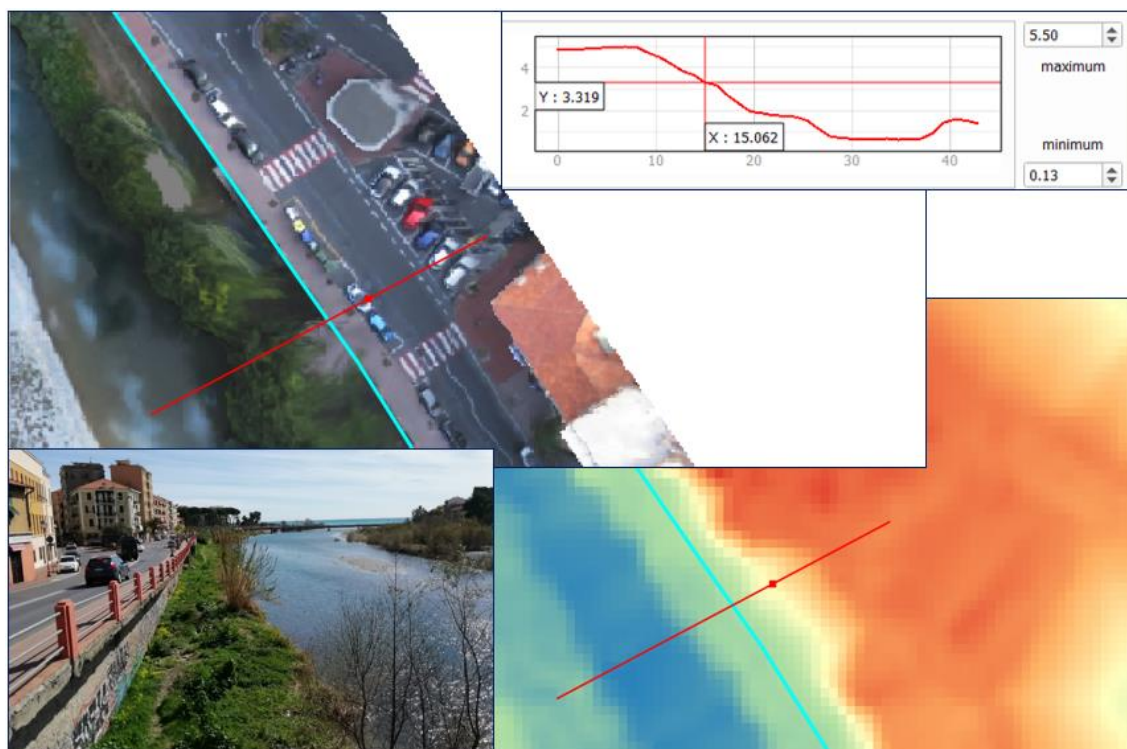


Figura 4.12 Esempio di correzione locale del DTM per rappresentare correttamente i tratti spondali. In alto a sinistra l'ortofoto della zona esaminata, corrispondente alla zona di Lungo Roia Gerolamo Rossi grezzo. In linea azzurra è tracciata la sponda sinistra del fiume Roia, identificabile anche nell'immagine in basso a destra dov'è riportato il DTM. In alto a destra la sezione ortogonale al corso d'acqua, tracciata da sinistra a destra, rappresentata in rosso nelle immagini vicine. In basso a sinistra uno scatto fotografico da monte verso valle della zona esaminata

A valle della costruzione e affinamento della griglia di calcolo con risoluzione di cella 2m, è stato necessario aggiungere l'ingombro degli edifici. Il DTM originale, infatti, contiene l'informazione della quota del suolo ma non degli elementi presenti al di sopra di esso quali edifici, vegetazione, etc. Nell'ambito di una modellazione bidimensionale, la considerazione degli edifici e più in generale di tutti quegli elementi che non possono venir sormontati dalle acque, risulta di fondamentale importanza per una corretta simulazione del deflusso, in particolare all'interno dei centri abitati.

L'aggiunta dell'impronta delle strutture antropiche nella griglia di calcolo è stata effettuata utilizzando le CTR in formato vettoriale fornite dal Committente. Oltre alla CTR, è stata svolta un'analisi comparativa con foto satellitari recenti e sopralluoghi al fine di identificare eventuali strutture non presenti nella CTR o variazioni rispetto a quest'ultima, apportando le opportune modifiche. Operativamente gli edifici sono stati inseriti nel DTM sopraelevando di un valore costante (30m) la quota del terreno nelle celle selezionate, valore per certo non raggiungibile dai tiranti idrici degli allagamenti.

L'ultima modifica apportata alla batimetria di calcolo è motivata dall'implementazione di un modello accoppiato 1D-2D, in cui l'alveo attivo risulta schematizzato nel modello monodimensionale e le aree circostanti in quello bidimensionale: per tale motivazione occorre escludere dal dominio di calcolo 2D la porzione di corso d'acqua già schematizzato nel modello 1D, altrimenti l'alveo risulterebbe erroneamente rappresentato due volte. Per evitare ciò, le celle dell'alveo sono state opportunamente selezionate e impostate come inattive.

Si riporta in Figura 4.13 l'immagine della batimetria di calcolo finale dell'area terminale del fiume Roia, scelta quale esempio per permettere di apprezzare visivamente i dettagli rappresentati.

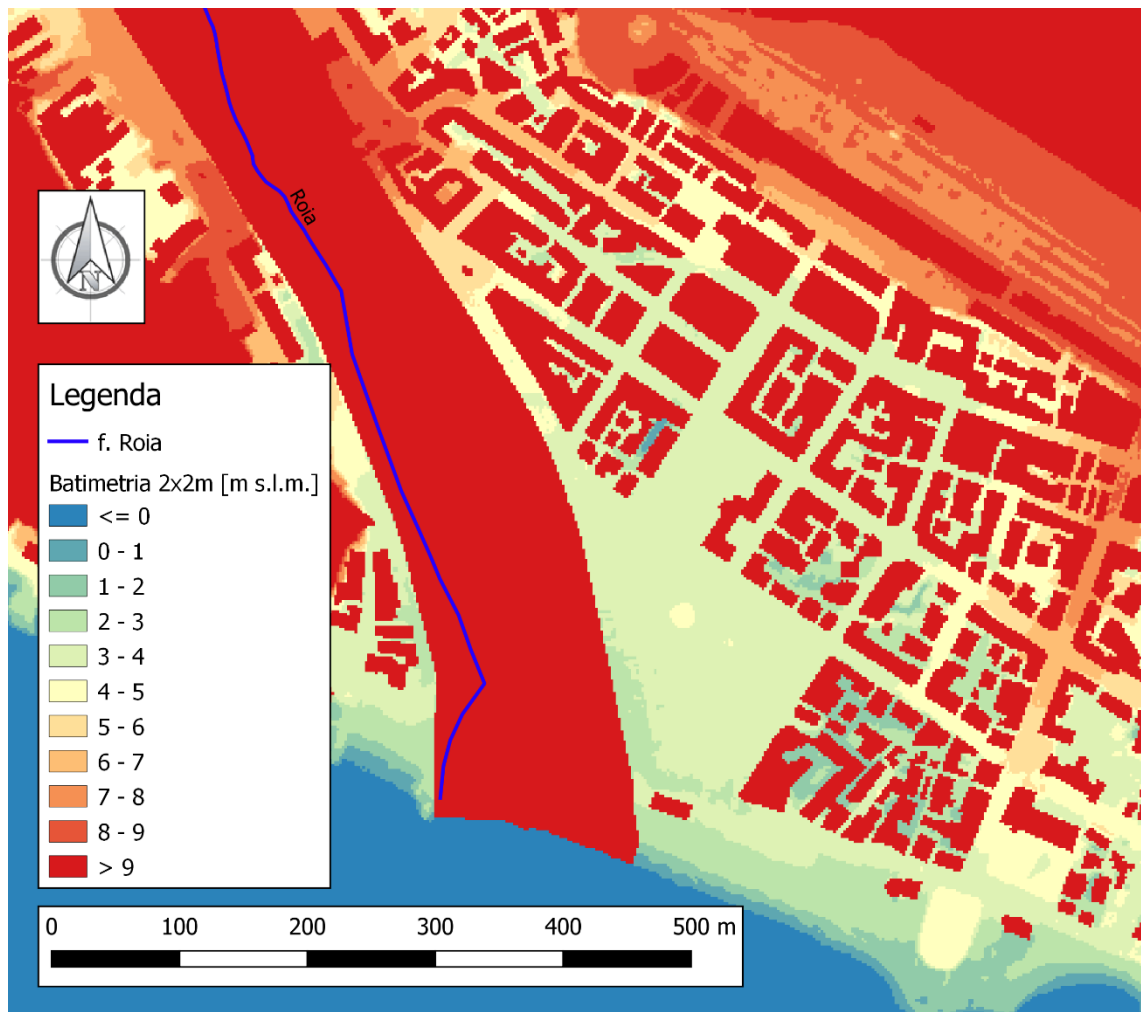


Figura 4.13 Batimetria di calcolo del dominio di studio del modello bidimensionale; dettaglio del tratto terminale del fiume Roia; in rosso sono evidenziate anche le celle poste come inattive (es. alveo del fiume Roia)

#### 4.3.2 Condizioni al contorno

Analogamente al modello monodimensionale, anche quello bidimensionale ha necessità di impostare le condizioni al contorno del dominio di calcolo. Nel caso del modello in esame, la forzante deriva esclusivamente dalle portate non contenute nell'alveo del corso d'acqua durante eventi di piena; di conseguenza non sono state inserite condizioni di monte nel modello 2D.

Relativamente alle condizioni di valle, coerentemente con la condizione di valle del modello monodimensionale, è stato impostato un livello del mare pari a 0.5 m s.l.m. Così come effettuato per il modello monodimensionale, anche in questo la scelta di tale valore è stato scelto a seguito di una specifica analisi di sensibilità dove sono stati comparati diversi livelli del pelo libero del mare, in un intervallo da 0 a 2 m s.l.m. L'analisi ha mostrato come la scelta di questo valore sia ininfluente nella definizione delle aree allagabili, in quanto l'esondazione provocata nel tratto terminale del corso d'acqua è imputabile agli elementi antropici, quali attraversamenti, presenti in quest'area, come verrà ampiamente discusso nei capitoli seguenti.

### 4.3.3 Principali parametri del modello

La definizione del modello di simulazione, oltre alla descrizione geometrica, richiede una serie di altri parametri, dei quali i più rilevanti risultano la scabrezza e il coefficiente di viscosità turbolenta.

Come già descritto, la scabrezza rappresenta, all'interno delle equazioni del moto, il parametro che regola le perdite di energia distribuite, in primo luogo quelle per attrito di scorrimento sul fondo e sulle sponde dell'alveo attivo.

In un modello bidimensionale i coefficienti di scabrezza da considerare si ottengono incrementando opportunamente di circa un 15-20% quelli comunemente impiegati nei modelli monodimensionali, per tenere conto del fatto che in un modello 2D sono già in tutto o almeno in gran parte direttamente considerati nelle equazioni del moto gli effetti di resistenza al moto indotti dalle condizioni di moto non-monodimensionali (turbolenza, moti vorticosi, sinuosità dell'alveo, ecc.) che nell'ambito di un modello monodimensionale devono essere globalmente inclusi in un valore inferiore del coefficiente di scabrezza.

Il modello MIKE 21 consente di inserire il parametro di scabrezza sia come valore unitario su tutto il dominio, sia attraverso una mappa di valori distribuiti. Nel caso in esame, si è deciso di diversificare i valori di scabrezza a seconda dell'uso del suolo del bacino, essendo presenti in uguale misura aree urbane e aree agricole/boschive. La classificazione delle aree è stata fatta sulla base della carta delle più recenti immagini satellitari distinguendo tra:

- aree urbane, a cui è stato assegnato un valore di Gauckler-Strickler pari a  $50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;
- aree agricole/boschive, a cui è stato assegnato un valore di Gauckler-Strickler medio pari a  $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ ;

Il modello bidimensionale, oltre alla descrizione geometrica, al coefficiente di scabrezza e alle condizioni al contorno, necessita del coefficiente di viscosità turbolenta ("eddy viscosity"). Quest'ultima è legata alla non uniforme distribuzione del campo delle velocità e può essere simulata nel modello in differenti modalità. Nel presente caso è stato adottato un coefficiente costante per l'intero dominio di calcolo, con un valore pari a  $0.8 \text{ m}^2/\text{s}$ .

## 4.4 Accoppiamento modelli 1D+2D

Come descritto in precedenza, i modelli mono e bidimensionale, costruiti originariamente in modo indipendente, sono stati accoppiati all'interno dell'interfaccia MIKE FLOOD. L'accoppiamento richiede la scelta di punti o tratti dove i due modelli si interfacciano, consentendo il trasferimento di volume liquido. Il codice prevede diverse tipologie di interfacciamento, a seconda delle caratteristiche specifiche del collegamento. Nella presente schematizzazione si sono inseriti dei collegamenti longitudinali (denominati "lateral link") lungo tutto il tratto dei corsi d'acqua oggetto di studio, posizionati in corrispondenza delle due sponde, in modo che l'intero alveo attivo, schematizzato all'interno del modello monodimensionale, fosse compreso al loro interno. In dettaglio, il criterio generale con cui è stata definita la localizzazione delle sponde, cioè del confine tra parte di alveo schematizzata in MIKE HYDRO e in MIKE 21, è risultato il seguente:

- poiché all'interno dei tematismi geografici forniti dal Committente era presente anche la perimetrazione di quanto definito come "alveo" nel Piano di Bacino, a seguito di specifico aggiornamento all'interno del presente approfondimento idraulico, esso è stato preso a riferimento quale posizione di primo tentativo delle sponde;
- in secondo luogo, verificando in ogni sezione del modello l'intersezione del tematismo sopraccitato con la geometria in essa definita, si è proceduto con le opportune modifiche, in

modo tale da inserire la porzione di sezione effettivamente rappresentante l'alveo inciso all'interno del dominio monodimensionale, e le aree golenali in quello bidimensionale;

- nelle sezioni con limite non chiaramente definito tra alveo attivo e aree golenali, a causa dell'assenza di manufatti arginali o di punti evidenti di discontinuità della pendenza trasversale delle sponde, si è proceduto in primo luogo mantenendo una coerenza complessiva in termini di larghezza dell'alveo inciso, ad esempio evitando bruschi allargamenti e restringimenti tra sezioni conseguenti, e al contempo evitando di inserire nel dominio del modello 1D porzioni di territorio con manufatti antropici;
- a validazione delle scelte effettuate, sono state consultate anche mappe aeree con le quali confermare o eventualmente modificare la localizzazione delle sponde.

Oltre alla localizzazione delle strutture di collegamento, il codice MIKE FLOOD prevede la definizione della tipologia di connessione tra i due modelli, necessaria al fine di individuare la quota di sormonto spondale da utilizzare nell'interfaccia tra i due domini di calcolo. Nel caso specifico, pur comunque risultando le quote dei due modelli tra loro rispettivamente coerenti, si è preferito dare priorità alle informazioni del modello MIKE HYDRO, perché più accurate nel rappresentare le quote di sommità di manufatti spondali, non sempre rilevati con la migliore accuratezza dal rilievo LIDAR, in particolare nei casi in cui presentano una dimensione inferiore alla risoluzione del rilievo stesso, pari a 1m.

## 4.5 Confronto con Piano di Bacino

Quale prima analisi, è stato condotto un confronto tra i risultati della modellistica implementata e quanto riportato sul vigente Piano di Bacino a parità di condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza. Il confronto non costituisce una calibrazione del modello, quanto più una verifica ponderata di una corretta implementazione dello stesso. Esso contribuisce inoltre ad individuare preventivamente le aree allagabili che potenzialmente subiranno variazioni in termini di estensione e pericolosità.

Attualmente, da Piano di Bacino, le fasce di pericolosità del fiume Roia sono individuate a partire da un modello monodimensionale implementato con codice HEC-RAS, i cui risultati sono stati forniti dalla Committenza. Per garantire l'uniformità dell'analisi, i risultati sono stati confrontati con quelli del solo modello monodimensionale MIKE HYDRO.

Le condizioni a contorno sono le stesse usate nel precedente studio, e dunque idrogrammi tempo invarianti con i valori di portata ricavati dallo studio idrologico redatto per la stesura del vigente Piano di Bacino, Figura 4.14. Anche i coefficienti di scabrezza adottati sono gli stessi, mentre rimangono differenti le geometrie delle sezioni idrauliche.

<b>Area (km<sup>2</sup>)</b>	672	660	485	470	155
<b>T [anni]</b>	<b>Q_Roya_Foce</b>	<b>Q_Roya_ValleBevera</b>	<b>Q_Roya_MonteBevera</b>	<b>Q_Roya_Airole</b>	<b>Q_Bevera_Torri</b>
50	1150	1140	920	900	579
200	1700	1680	1350	1320	836
500	2000	1970	1600	1560	1006

Figura 4.14 Portate al colmo estratta dal vigente Piano di Bacino del fiume Roia

Il confronto di seguito riportato fa riferimento esclusivamente alle sezioni localizzate in prossimità delle strutture dei ponti implementati in entrambi i modelli. Sono escluse dal confronto le altre sezioni in quanto difficilmente individuabili planimetricamente dato che il modello in HEC-RAS non è georeferito.

Il confronto è stato fatto per tutti i tempi di ritorno, 50, 200 e 500 anni e se ne riportano i risultati rispettivamente in [Tabella 4.6](#), [Tabella 4.7](#) e

Tabella 4.8.

Globalmente, sia per il fiume Roia che per il torrente Bevera, le differenze nei livelli tra i due modelli sono contenute all'interno di un intervallo di 50 cm circa, valore del tutto ragionevole data le differenze nelle geometrie oltre che ai codici numerici utilizzati.

Localmente si notano differenze anche significative, perlopiù motivate dalla variazione nelle geometrie degli alvei. Di seguito si citano alcuni tra gli esempi più significativi:

- ROI-1050 e ROI-1030, sono localizzate in prossimità di Airole, rispettivamente in corrispondenza del ponte sulla S.S 20 di valle Roia e Colle di Tenda e del Ponte Rovere Nuovo. Nella nuova geometria, rappresentata nel modello MIKE HYDRO, la batimetria tra queste due sezioni varia in modo significativo e le quote di fondo risultano inferiori di quasi 5 m rispetto al rilievo precedente. Come visibile da sopralluogo, questa zona corrisponde a una forra scavata dal flusso dell'acqua, per cui si ritengono ragionevoli le quote di fondo del nuovo rilievo, che ha utilizzato per i tratti con ingente presenza di acqua un drone acquatico per il rilievo batimetrico. In ogni caso, si ritengono poco verosimili le differenze dei livelli tra la sezione di monte e quella di valle della sezione ROI-1030 dello studio pregresso per i tempi di ritorno di 200 e 500 anni: essa è di circa 9 m;
- ROI-360, è localizzata in prossimità di Ponte Roia. Il confronto con lo studio pregresso mostra una differenza di circa 2 metri, nelle sezioni di monte e valle, per tutti e tre i tempi di ritorno analizzati. Tale differenza è riconducibile alla quota di fondo del nuovo rilievo che risulta di circa 2 metri inferiore allo studio precedente. La differenza di quota è presumibilmente riconducibile all'intensa attività antropica che contraddistingue questo tratto;
- BEV-10bis, è localizzata in prossimità del Ponte Bevera. Anche qui si nota una differenza significativa tra i livelli del presente studio rispetto a quello precedente. I valori differiscono di oltre 2.5 m, determinati tuttavia da una differenza di quota di fonda di ugual entità. Si sottolinea inoltre che la zona in questione è ad oggi ancora sottoposta ad ingente attività antropica che interessa il letto del corso d'acqua.

Tabella 4.6 Tabella di confronto tra i risultati ottenuti con MIKE HYDRO e riportati nel Piano di Bacino (studio con HEC-RAS) a parità di condizioni a contorno (T50 anni) e coefficiente di scabrezza in prossimità delle strutture idrauliche rappresentate nei modelli

Corso d'acqua	SEZ. MIKE	SEZ. HEC-RAS	Quota intradosso [m s.l.m.]	Livello max MIKE [m s.l.m.]	Livello max HEC-RAS [m s.l.m.]	Δ livello max (MIKE - HEC-RAS)
F. Roia	ROI-1050_m	2.53 U	105.40	87.34	91.60	-4.26
F. Roia	ROI-1050_v	2.53 D	105.40	87.23	91.50	-4.27
F. Roia	ROI-1030_m	2.51 U	91.85	86.09	89.77	-3.68
F. Roia	ROI-1030_v	2.51 D	91.85	86.00	84.49	1.51
F. Roia	ROI-630_m	2.435 U	62.60	51.52	50.60	0.92
F. Roia	ROI-630_v	2.435 D	62.60	49.47	48.09	1.38
F. Roia	ROI-360_m	2.29 U	28.66	25.52	27.49	-1.97
F. Roia	ROI-360_v	2.29 D	28.66	25.25	27.43	-2.18
F. Roia	ROI-260_m	1.22 U	19.80	16.45	17.07	-0.62
F. Roia	ROI-260_v	1.22 D	19.80	16.36	16.66	-0.30
F. Roia	ROI-190_m	1.16 U	17.25	12.69	13.35	-0.66
F. Roia	ROI-190_v	1.16 D	17.25	12.47	12.14	0.33
F. Roia	ROI-150_m	1.13 U	20.60	8.24	10.10	-1.86
F. Roia	ROI-150_v	1.13 D	20.60	8.19	9.21	-1.02
F. Roia	ROI-100_m	1.09 U	7.60	6.19	6.96	-0.77
F. Roia	ROI-100_v	1.09 D	7.60	5.94	4.80	1.14
F. Roia	ROI-60_m	1.05 U	7.54	5.31	5.34	-0.03



Corso d'acqua	SEZ. MIKE	SEZ. HEC-RAS	Quota intradosso [m s.l.m.]	Livello max MIKE [m s.l.m.]	Livello max HEC-RAS [m s.l.m.]	Δ livello max (MIKE - HEC-RAS)
F. Roia	ROI-60_v	1.05 D	7.54	5.22	5.26	-0.04
F. Roia	ROI-50_m	1.04 U	7.58	5.19	5.17	0.02
F. Roia	ROI-50_v	1.04 D	7.58	3.90	3.48	0.42
F. Roia	ROI-10_m	1.02 U	3.23	2.98	3.78	-0.80
F. Roia	ROI-10_v	1.02 D	3.23	2.26	3.12	-0.86
T. Bevera	BEV-310_m	3.17 U	70.65	65.35	68.73	-3.38
T. Bevera	BEV-310_v	3.17 D	70.65	65.29	66.67	-1.38
T. Bevera	BEV-280-p_m	3.154 U	64.10	60.76	63.10	-2.34
T. Bevera	BEV-280-p_v	3.154 D	64.10	60.70	62.32	-1.62
T. Bevera	BEV-210_m	3.12 U	54.91	50.33	52.24	-1.91
T. Bevera	BEV-210_v	3.12 D	54.91	50.25	52.18	-1.93
T. Bevera	BEV-160_m	assente	48.42	48.15	-	-
T. Bevera	BEV-160_v	assente	48.42	48.07	-	-
T. Bevera	BEV-30_m	3.02 U	32.75	27.78	29.03	-1.26
T. Bevera	BEV-30_v	3.02 D	32.75	26.45	27.42	-0.98
T. Bevera	BEV-10bis_m	3.01 U	30.52	22.78	26.24	-3.46
T. Bevera	BEV-10bis_v	3.01 D	30.52	22.77	26.22	-3.45

Tabella 4.7 Tabella di confronto tra i risultati ottenuti con MIKE HYDRO e riportati nel Piano di Bacino (studio con HEC-RAS) a parità di condizioni a contorno (T200 anni) e coefficiente di scabrezza in prossimità delle strutture idrauliche rappresentate nei modelli

Corso d'acqua	SEZ. MIKE	SEZ. HEC-RAS	Quota intradosso [m s.l.m.]	Livello max MIKE [m s.l.m.]	Livello max HEC-RAS [m s.l.m.]	Δ livello max (MIKE - HEC-RAS)
F. Roia	ROI-1050_m	2.53 U	105.40	89.07	96.70	-7.63
F. Roia	ROI-1050_v	2.53 D	105.40	88.86	96.61	-7.75
F. Roia	ROI-1030_m	2.51 U	91.85	87.89	96.12	-8.23
F. Roia	ROI-1030_v	2.51 D	91.85	87.26	87.41	-0.15
F. Roia	ROI-630_m	2.435 U	62.60	52.91	51.84	1.07
F. Roia	ROI-630_v	2.435 D	62.60	50.36	48.90	1.46
F. Roia	ROI-360_m	2.29 U	28.66	26.32	28.25	-1.93
F. Roia	ROI-360_v	2.29 D	28.66	25.84	28.19	-2.36
F. Roia	ROI-260_m	1.22 U	19.80	17.15	17.62	-0.47
F. Roia	ROI-260_v	1.22 D	19.80	17.06	17.34	-0.28
F. Roia	ROI-190_m	1.16 U	17.25	13.46	14.03	-0.57
F. Roia	ROI-190_v	1.16 D	17.25	13.12	12.56	0.56
F. Roia	ROI-150_m	1.13 U	20.60	10.51	10.81	-0.30
F. Roia	ROI-150_v	1.13 D	20.60	10.41	10.36	0.05
F. Roia	ROI-100_m	1.09 U	7.60	7.19	10.00	-2.81
F. Roia	ROI-100_v	1.09 D	7.60	6.95	6.70	0.25
F. Roia	ROI-60_m	1.05 U	7.54	6.36	6.32	0.04
F. Roia	ROI-60_v	1.05 D	7.54	6.27	6.22	0.05
F. Roia	ROI-50_m	1.04 U	7.58	6.22	6.09	0.13
F. Roia	ROI-50_v	1.04 D	7.58	4.63	3.96	0.67
F. Roia	ROI-10_m	1.02 U	3.23	3.74	4.81	-1.08
F. Roia	ROI-10_v	1.02 D	3.23	2.65	3.86	-1.21
T. Bevera	BEV-310_m	3.17 U	70.65	67.87	69.89	-2.02
T. Bevera	BEV-310_v	3.17 D	70.65	67.71	67.33	0.38
T. Bevera	BEV-280-p_m	3.154 U	64.10	63.04	64.31	-1.27
T. Bevera	BEV-280-p_v	3.154 D	64.10	62.98	63.38	-0.40
T. Bevera	BEV-210_m	3.12 U	54.91	52.86	53.06	-0.20
T. Bevera	BEV-210_v	3.12 D	54.91	52.65	52.91	-0.26
T. Bevera	BEV-160_m	assente	48.42	49.50	-	-



Corso d'acqua	SEZ. MIKE	SEZ. HEC-RAS	Quota intradosso [m s.l.m.]	Livello max MIKE [m s.l.m.]	Livello max HEC-RAS [m s.l.m.]	Δ livello max (MIKE - HEC-RAS)
T. Bevera	BEV-160_v	assente	48.42	48.34	-	-
T. Bevera	BEV-30_m	3.02 U	32.75	28.79	29.89	-1.10
T. Bevera	BEV-30_v	3.02 D	32.75	27.07	28.05	-0.98
T. Bevera	BEV-10bis_m	3.01 U	30.52	23.79	26.51	-2.72
T. Bevera	BEV-10bis_v	3.01 D	30.52	23.76	26.50	-2.74

Tabella 4.8 Tabella di confronto tra i risultati ottenuti con MIKE HYDRO e riportati nel Piano di Bacino (studio con HEC-RAS) a parità di condizioni a contorno (T500 anni) e coefficiente di scabrezza in prossimità delle strutture idrauliche rappresentate nei modelli

Corso d'acqua	SEZ. MIKE	SEZ. HEC-RAS	Quota intradosso [m s.l.m.]	Livello max MIKE [m s.l.m.]	Livello max HEC-RAS [m s.l.m.]	Δ livello max (MIKE - HEC-RAS)
F. Roia	ROI-1050_m	2.53 U	105.40	90.09	97.77	-7.68
F. Roia	ROI-1050_v	2.53 D	105.40	89.93	97.67	-7.74
F. Roia	ROI-1030_m	2.51 U	91.85	89.16	97.04	-7.88
F. Roia	ROI-1030_v	2.51 D	91.85	88.41	88.10	0.31
F. Roia	ROI-630_m	2.435 U	62.60	53.70	52.43	1.27
F. Roia	ROI-630_v	2.435 D	62.60	50.82	50.82	0.00
F. Roia	ROI-360_m	2.29 U	28.66	26.74	29.54	-2.81
F. Roia	ROI-360_v	2.29 D	28.66	26.13	28.46	-2.33
F. Roia	ROI-260_m	1.22 U	19.80	17.49	17.93	-0.45
F. Roia	ROI-260_v	1.22 D	19.80	17.40	17.68	-0.28
F. Roia	ROI-190_m	1.16 U	17.25	13.85	14.43	-0.58
F. Roia	ROI-190_v	1.16 D	17.25	13.44	12.76	0.68
F. Roia	ROI-150_m	1.13 U	20.60	10.84	11.38	-0.54
F. Roia	ROI-150_v	1.13 D	20.60	10.73	10.88	-0.15
F. Roia	ROI-100_m	1.09 U	7.60	7.76	10.60	-2.84
F. Roia	ROI-100_v	1.09 D	7.60	7.47	7.22	0.25
F. Roia	ROI-60_m	1.05 U	7.54	6.90	6.81	0.09
F. Roia	ROI-60_v	1.05 D	7.54	6.82	6.70	0.12
F. Roia	ROI-50_m	1.04 U	7.58	6.76	6.61	0.15
F. Roia	ROI-50_v	1.04 D	7.58	5.00	4.18	0.82
F. Roia	ROI-10_m	1.02 U	3.23	4.17	5.36	-1.19
F. Roia	ROI-10_v	1.02 D	3.23	2.83	4.22	-1.39
T. Bevera	BEV-310_m	3.17 U	70.65	68.90	70.70	-1.80
T. Bevera	BEV-310_v	3.17 D	70.65	68.84	67.54	1.30
T. Bevera	BEV-280-p_m	3.154 U	64.10	64.07	64.90	-0.83
T. Bevera	BEV-280-p_v	3.154 D	64.10	64.03	64.06	-0.03
T. Bevera	BEV-210_m	3.12 U	54.91	53.86	53.53	0.33
T. Bevera	BEV-210_v	3.12 D	54.91	53.77	53.36	0.41
T. Bevera	BEV-160_m	assente	48.42	49.76	-	-
T. Bevera	BEV-160_v	assente	48.42	49.60	-	-
T. Bevera	BEV-30_m	3.02 U	32.75	29.38	30.36	-0.98
T. Bevera	BEV-30_v	3.02 D	32.75	27.84	28.39	-0.56
T. Bevera	BEV-10bis_m	3.01 U	30.52	23.95	26.64	-2.69
T. Bevera	BEV-10bis_v	3.01 D	30.52	23.94	26.63	-2.69

## 5 Risultati della modellazione per assegnati tempi di ritorno

Sulla base degli schemi geometrici e delle condizioni al contorno illustrate nei precedenti paragrafi, sono state condotte le simulazioni idrauliche degli eventi associati ai tre tempi di ritorno considerati di 50, 200 e 500 anni, per le aste fluviali oggetto di studio.

Gli obiettivi perseguiti con le citate simulazioni sono di seguito sinteticamente elencati:

- verificare la coerenza dei risultati delle simulazioni con i risultati dello studio idrologico, in termini di conformità degli input progettuali precedentemente descritti;
- determinare i valori delle principali variabili idrodinamiche, della corrente in alveo e degli allagamenti nelle aree golenali, quali ad esempio tiranti idrici e velocità di scorrimento;
- fornire le informazioni di natura idrodinamica per la definizione di una proposta di aggiornamento delle fasce di pericolosità idraulica attualmente vigenti, in particolare in termini di estensione degli allagamenti e di comparazione dei livelli della corrente in alveo rispetto alle quote spondali e a quelle degli impalcati degli attraversamenti;
- fornire le informazioni di natura idrodinamica per la definizione di una proposta di perimetrazione della fascia di riassetto fluviale.

In merito al primo obiettivo elencato, il principale requisito da verificare è la congruità delle massime portate di piena con i valori derivanti dallo studio idrologico effettuato dal DICCA, per i diversi tempi di ritorno e le sezioni di chiusura considerate. Il rispetto di tali valori è stato perseguito nell'assegnazione delle condizioni al contorno del modello monodimensionale, in particolare per quanto riguarda le forzanti inserite in input in modo concentrato e distribuito lungo lo sviluppo longitudinale dei corsi d'acqua; occorre tuttavia accertare che effetti di laminazione dovuti alla propagazione bidimensionale degli allagamenti non ne alterino in modo significativo i valori. A seguito di prime simulazioni di test, sono stati successivamente adeguati i contributi di portata per tener opportunamente in conto di tutti i fenomeni che concorrono alla definizione della dinamica di traslazione dell'onda di piena.

A seguito dell'accertamento della corretta definizione dei setup modellistici e conseguentemente della congruità dei risultati, gli stessi sono stati valutati nel dettaglio al fine di comprendere le dinamiche di deflusso e di propagazione degli allagamenti.

In questa fase di analisi dei risultati, particolare enfasi è stata data al confronto tra i massimi livelli di piena in alveo e le quote di sponde e attraversamenti. Per quanto riguarda gli attraversamenti, tale confronto risulta utile al fine di comprendere se le quote di intradosso dell'impalcato degli stessi risultano raggiunti dalla corrente e, in caso negativo, con quale franco di sicurezza; in sintesi è stato determinato il franco idraulico, evidenziando le situazioni di maggiore criticità.

In riferimento al franco di sicurezza rispetto alle quote spondali la valutazione ha assunto un duplice significato: oltre alla sua stessa quantificazione, di per sé rilevante, è stato utile evidenziare tutti quei tratti di corso d'acqua in cui, pur non verificandosi sormonti spondali, la differenza tra livello di piena e quota di sponda risultasse comunque di ridotta entità, al fine della successiva perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica. In presenza di aree golenali adiacenti a sponde con ridotto franco idraulico, è infatti necessario condurre un approfondimento ulteriore, volto a valutare se le stesse continuano a risultare non coinvolte da allagamenti anche introducendo un fattore di sicurezza che possa includere tutte le possibili incertezze legate a questa tipologia di analisi idrauliche, così come descritto nel Cap. 6.

Per semplicità espositiva i risultati vengono di seguito riportati distinguendo le aste fluviali tra:

- Torrente Bevera
- Fiume Roia presso località Airole

- Fiume Roia da località Trucco fino a foce

### 5.1.1 Torrente Bevera

I risultati delle simulazioni idrauliche lungo l'asta del torrente Bevera per i diversi tempi di ritorno mostrano una limitata estensione degli allagamenti, principalmente localizzati in prossimità di località Torri e località Calvo.

Presso località Torri l'area allagabile risulta ben definita in prossimità del corso d'acqua con l'estensione che interessa solo in minima parte il centro abitato. Si riporta in Figura 5.1 l'estensione delle aree allagabili per i tre tempi di ritorno simulati. Tra le zone in cui si evidenzia maggiore estensione vi è la quella limitrofa al piazzale posto al termine di Via Torri Superiore, in prossimità della sezione idraulica BEV-300, e la sponda sinistra del corso d'acqua a monte del ponte di Via Case Palanchi, sezione BEV-280-p.

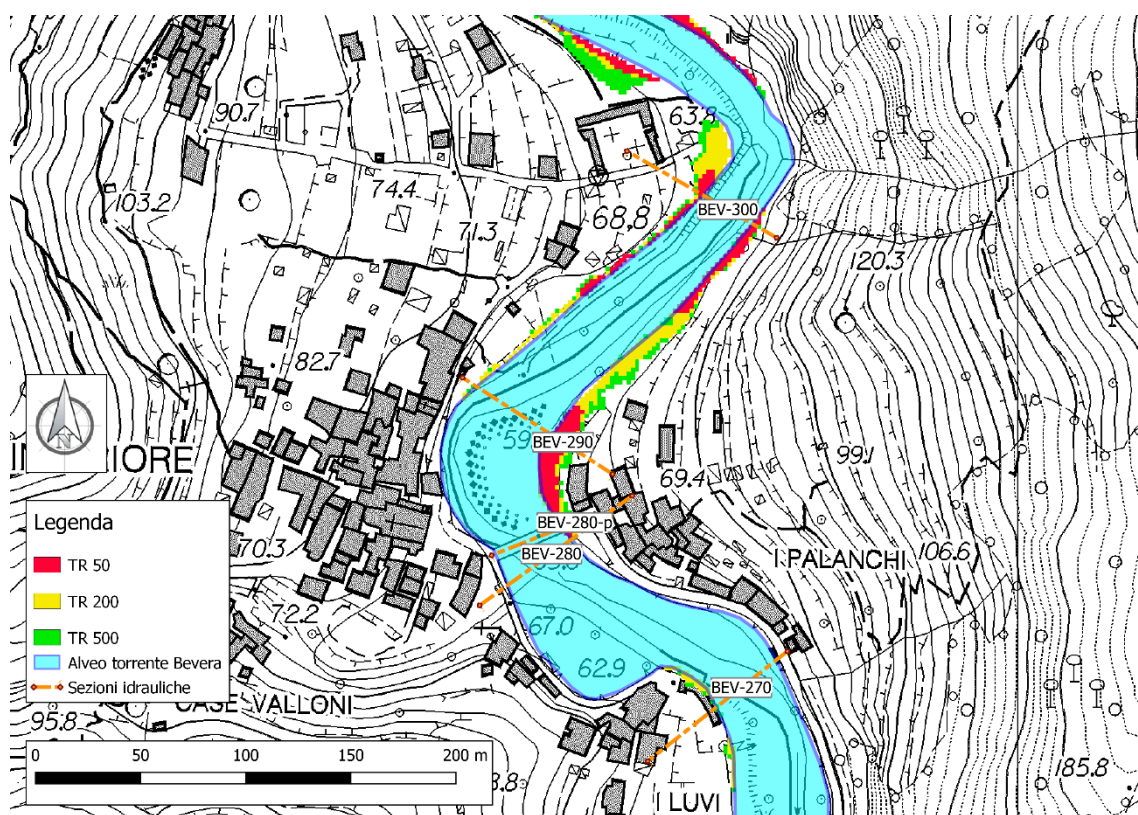


Figura 5.1 Torrente Bevera, Località Torri (IM) – Sovrapposizione del tematismo della massima estensione degli allagamenti per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde

Più a valle, nei pressi di località Calvo, l'area maggiormente interessata è quella limitrofa al corso d'acqua nel tratto di circa 300 m a monte del ponte che attraversa l'abitato (Via del Ponte). Se ne riporta in Figura 5.2 l'estensione delle aree allagabili per i tempi di ritorno analizzati. In questo tratto l'estensione è preponderante in sponda destra, dove la quasi totalità del piazzale tra Via del Ponte e l'alveo risulta esondabile. In sponda sinistra l'estensione risulta più limitata data la configurazione orografica della zona ed interessa le abitazioni localizzate tra Via Domenico Tempesta e l'alveo.

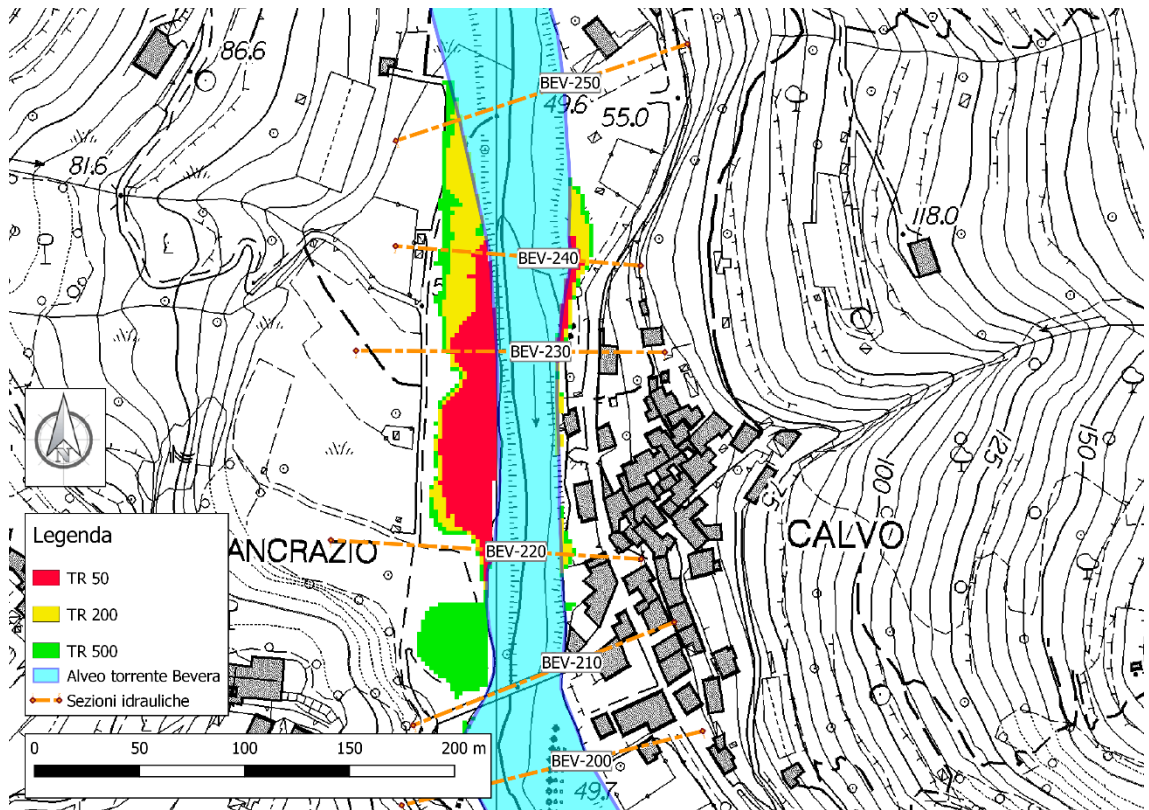


Figura 5.2 Torrente Bevera, Località Calvo (IM) – Sovrapposizione del tematismo della massima estensione degli allagamenti per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde

I tiranti idraulici in prossimità degli attraversamenti risultano ampiamente al di sotto dei rispettivi impalcati, così come riportato in Tabella 5.1.

Tabella 5.1 Torrente Bevera, livelli massimi dei tiranti idrici in prossimità delle strutture idrauliche

Corso d'acqua	SEZ. [-]	Descrizione	Quota intradosso [m s.l.m.]	W.L. Tr 50 [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 [m s.l.m.]	W.L. Tr 500 [m s.l.m.]
T. Bevera	BEV-310_m	Passerella carrabile sopra loc. Torri	70.65	65.60	66.24	66.62
T. Bevera	BEV-310_v		70.65	65.54	66.17	66.54
T. Bevera	BEV-280-p_m	Ponte stradale di loc. Torri	64.10	61.13	61.65	62.02
T. Bevera	BEV-280-p_v		64.10	61.05	61.54	61.89
T. Bevera	BEV-210_m	Ponte stradale in loc. Calvi	54.91	50.51	51.00	51.37
T. Bevera	BEV-210_v		54.91	50.34	50.86	51.20
T. Bevera	BEV-160_m	Ponte di Via Umberto Lorenzi in loc. Calvi	48.42	46.94	47.44	47.74
T. Bevera	BEV-160_v		48.42	46.85	47.35	47.65
T. Bevera	BEV-30_m	Ponte ferroviario in loc. Bevera	32.75	26.71	27.46	27.98
T. Bevera	BEV-30_v		32.75	25.88	26.28	26.55
T. Bevera	BEV-10bis_m	Ponte Bevera	30.52	23.18	23.43	23.61
T. Bevera	BEV-10bis_v		30.52	23.06	23.37	23.52



In ultima analisi, va evidenziata una riduzione significativa dell'area allagabile per i diversi tempi di ritorno rispetto alla situazione delineata dal vigente Piano di Bacino. Tale differenza è riconducibile a due aspetti fondamentali:

- Aggiornamento delle sezioni idrauliche, con variazioni di quota anche significative lungo l'asta così come già emerso dall'analisi di confronto effettuata nel Cap. 4.5.
- Approfondimento studio idrologico. Come già anticipato nel Par. 4.2.4, lo studio idrologico effettuato dal DICCA mette in luce differenze sostanziali nei valori di portata al colmo rispetto a quanto attualmente definito nel Piano di Bacino. A titolo d'esempio, si ricorda che la portata al colmo per l'evento con tempo di ritorno 500 anni nel vigente Piano alla sezione idrologica di Torri corrisponde a 579 m<sup>3</sup>/s, mentre dallo studio aggiornato, per la medesima sezione, questo valore è prossimo alla portata con tempo di ritorno 50 anni, corrispondente a 598 m<sup>3</sup>/s.

Per quanto riguarda la restituzione dei risultati in alveo, nell'Allegato 0 sono fornite alcune tabelle sintetiche contenenti i valori dei principali parametri idrodinamici in corrispondenza di tutte le sezioni del corso d'acqua schematizzate in MIKE HYDRO, per ognuno degli eventi di piena considerati con differenti tempi di ritorno. In Figura 5.3 si riporta per l'intero tratto oggetto di studio il profilo del massimo livello in alveo per i tre eventi considerati.

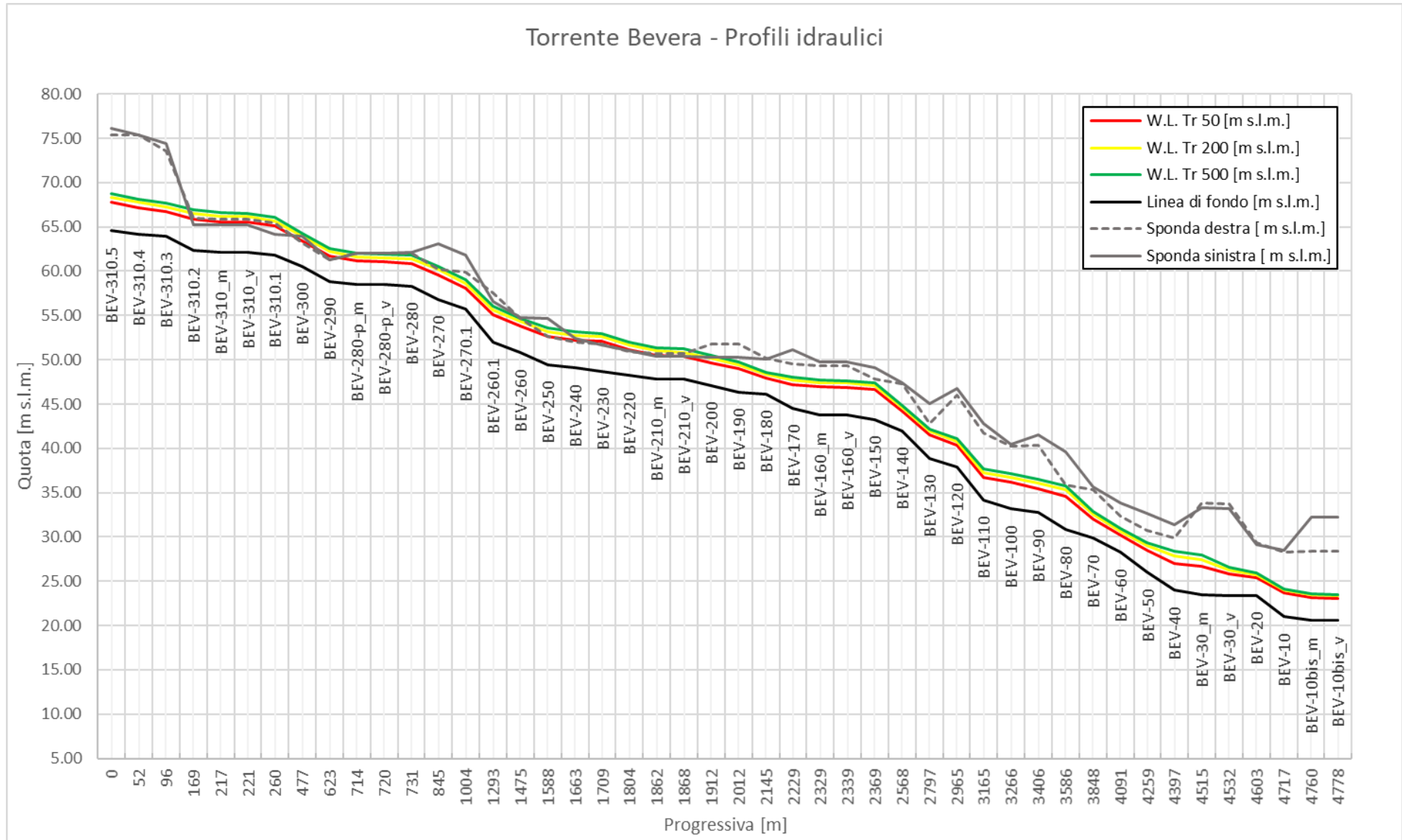


Figura 5.3

Torrente Bevera – Sovrapposizione dei profili del massimo livello della corrente in alveo per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde. Nel grafico sono rappresentati anche il profilo di fondo, con linea nera; il profilo di sponda destra e sinistra rispettivamente con linea grigia tratteggiata e continua

### 5.1.2 Fiume Roia presso località Airole

Il tratto di asta fluviale del Roia nei pressi di località Airole non presenta particolari criticità idrauliche per i diversi tempi di ritorno. La forte acclività dei versanti che contraddistingue questo tratto fluviale limita la porzione di territorio soggetta ad allagamento alla sola area limitrofa al corso d'acqua, principalmente in sponda sinistra. L'onda di piena non interessa gli impalcati degli attraversamenti stradali, per i quali risultano sufficienti franchi di sicurezza per tutti gli scenari simulati, come riportato in Tabella 5.2.

Tabella 5.2 Fiume Roia, presso località Airole - livelli massimi dei tiranti idrici in prossimità delle strutture idrauliche

Corso d'acqua	SEZ. [-]	Descrizione	Quota intradosso [m s.l.m.]	W.L. Tr 50 [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 [m s.l.m.]	W.L. Tr 500 [m s.l.m.]
F. Roia	ROI-1050_m	Ponte sulla S.S 20 di valle Roia e del Colle di Tenda	105.40	87.04	89.50	91.31
F. Roia	ROI-1050_v		105.40	86.85	89.43	91.16
T. Bevera	ROI-1030_m	Ponte Rovere Nuovo	91.85	85.77	88.65	90.64
T. Bevera	ROI-1030_v		91.85	85.64	87.03	87.86

Si riporta in Figura 5.4 il profilo del massimo livello idrico in alveo del tratto fluviale analizzato del fiume Roia presso Airole per i tre eventi analizzati. Si rimanda all'Allegato 0 per i dettagli sulle singole sezioni.

Rispetto a quanto definito nel vigente Piano di Bacino, nella nuova configurazione modellistica il tratto indagato risulta essere soggetto a minor criticità in termini di tiranti idrici massimi. Come già evidenziato nel Par. 4.5 le differenze nei tiranti idrici sono da imputarsi principalmente all'aggiornamento delle sezioni idrauliche, le quali presentano un profilo di fondo delle sezioni ROI-1040 e ROI-1030 a quote notevolmente inferiori rispetto a quanto indicato nel Piano vigente. Tali sezioni sono localizzate presso una forra, per cui si ritengono ragionevoli le quote di fondo del nuovo rilievo, che ha utilizzato, per i tratti con ingente presenza di acqua, un drone acquatico per il rilievo batimetrico.

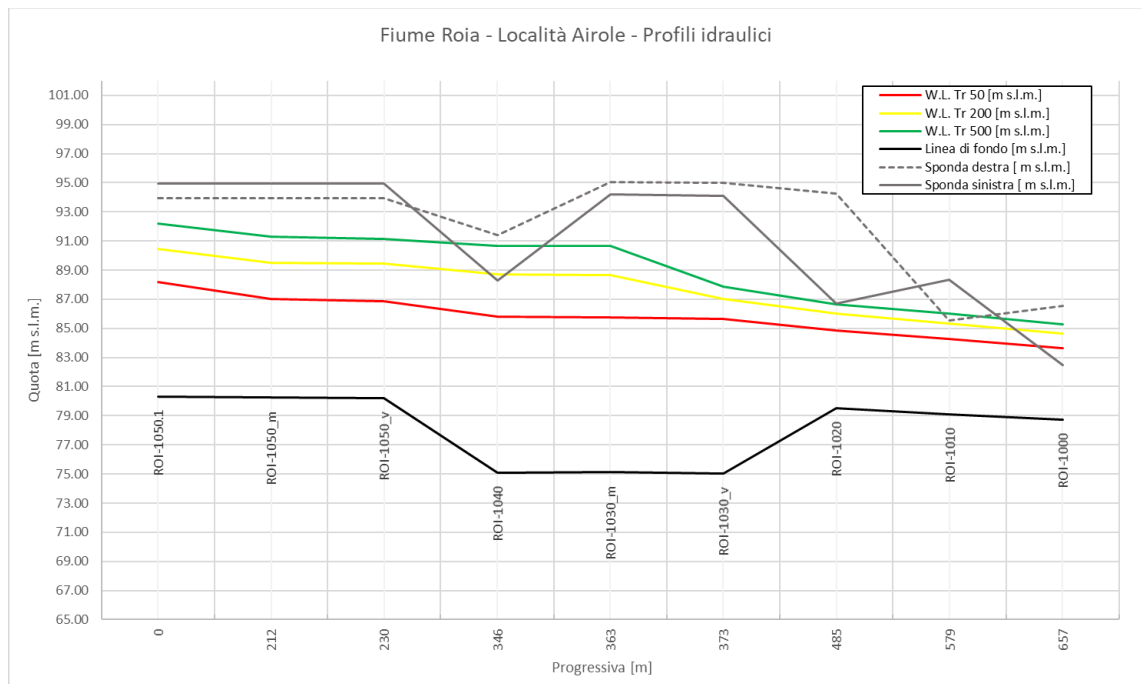


Figura 5.4 Fiume Roia, località Airole – Sovrapposizione dei profili del massimo livello della corrente in alveo per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde. Nel grafico sono rappresentati anche il profilo di fondo, con linea nera; il profilo di sponda destra e sinistra rispettivamente con linea grigia tratteggiata e continua

### 5.1.3 Fiume Roia da località Trucco a foce

Il tratto del fiume Roia che scorre da Località Trucco fino a foce percorre una distanza di circa 9 km. Data la rilevante estensione nonché la complessità urbanistica che contraddistingue l'asta, le analisi che seguono sono suddivise a seconda dello scenario di inondazione corrispondente ai diversi tempi di ritorno analizzati.

#### 5.1.3.1 Risultati per tempo di ritorno 50 anni

Nel complesso, la portata con tempo di ritorno 50 anni risulta prevalentemente contenuta all'interno dell'alveo del corso d'acqua, con esondazioni che interessano parzialmente solo il tratto a monte della confluenza con il torrente Bevera.

Tra le zone maggiormente interessate dall'esondazione dell'onda di piena vi è la porzione di territorio che separa la sponda sinistra del corso d'acqua dalla Strada Statale 20 nei pressi di località Trucco, così come rappresentato in Figura 5.5, che riporta la mappatura dei tiranti massimi in quest'area.



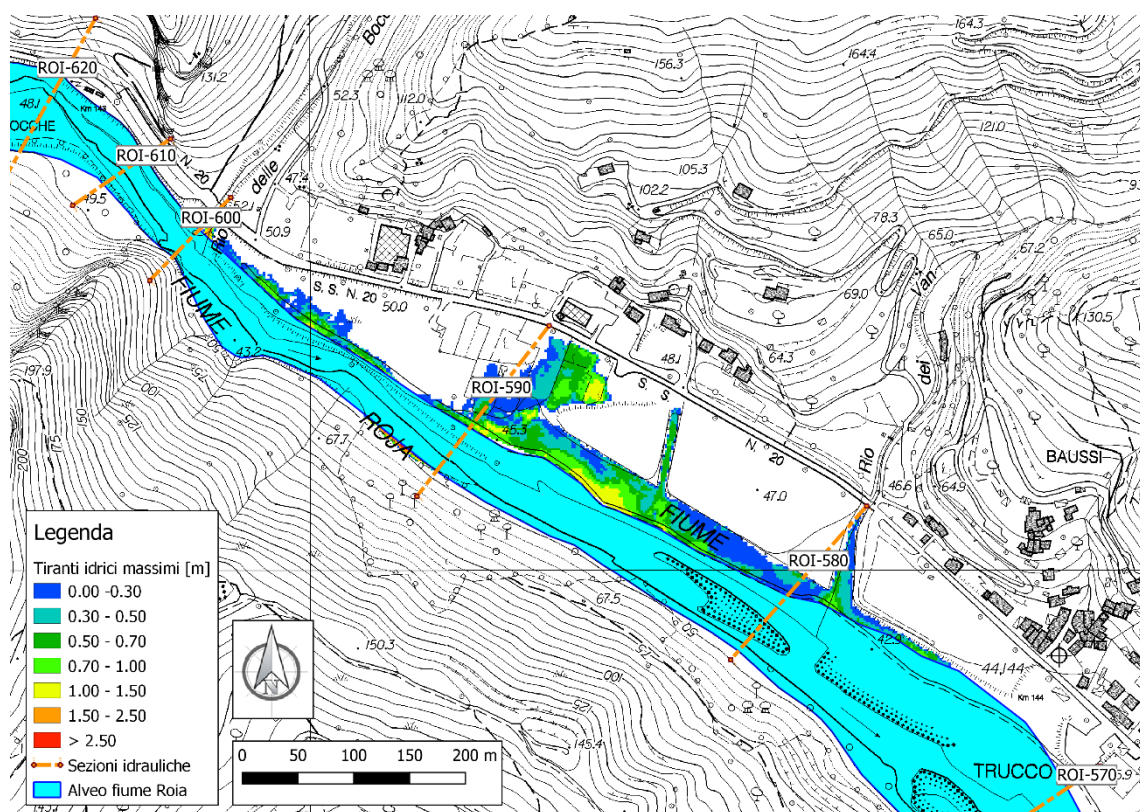


Figura 5.5 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi presso località Trucco per l'evento con tempi di ritorno di 50 anni

Proseguendo verso valle, si evidenziano limitate esondazioni che interessano la sponda sinistra del corso d'acqua, come nei pressi della sezione idraulica ROI-530 e nel tratto a monte del Ponte Roia, localizzato in prossimità della sezione ROI-360. Si riporta rispettivamente in Figura 5.6 e Figura 5.7 il dettaglio delle zone citate in termini di tiranti massimi.

Oltre alle zone fin qui indicate, sono soggette a potenziale esondazione anche altre aree di minore estensione limitrofe al corso d'acqua. Tuttavia, in nessuna di esse, così come in quelle già elencate, l'esondazione risulta interessare abitazioni residenziali o edifici industriali.

Si riportano in Tabella 5.3 i livelli massimi dei tiranti idrici raggiunti in prossimità dei ponti che interessano il corso d'acqua. La quasi totalità degli attraversamenti risulta con un franco idraulico superiore ad un metro, con la sola eccezione per la passerella pedonale Squarciafichi, localizzata in prossimità della foce (ROI-10). Il pelo libero dell'onda di piena raggiunge l'impalcato della struttura, ma rimane contenuta all'interno delle arginature che localmente presentano quote più elevate. Tra le strutture con franco idraulico minore si segnalano i ponti ferroviari localizzati in prossimità della sezione ROI-100, dove il franco idraulico risulta essere comunque di circa un metro.

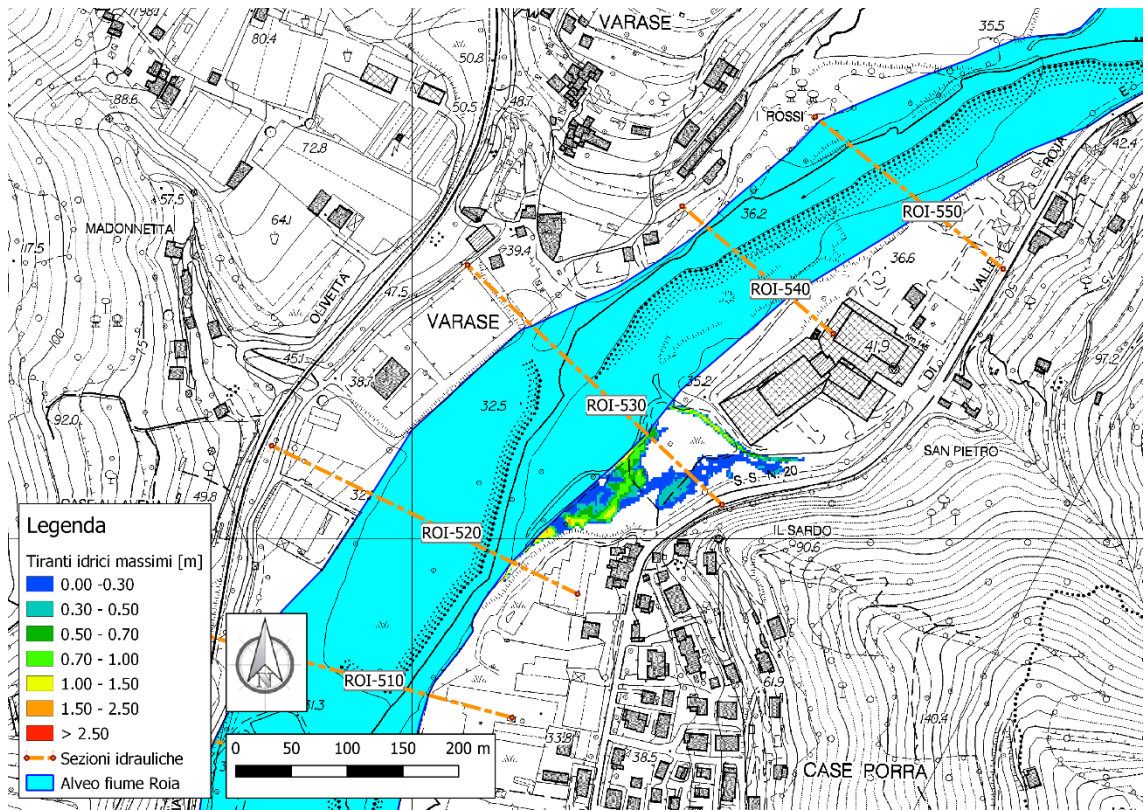


Figura 5.6 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nei pressi della sezione idraulica ROI-530 per l'evento con tempi di ritorno di 50 anni

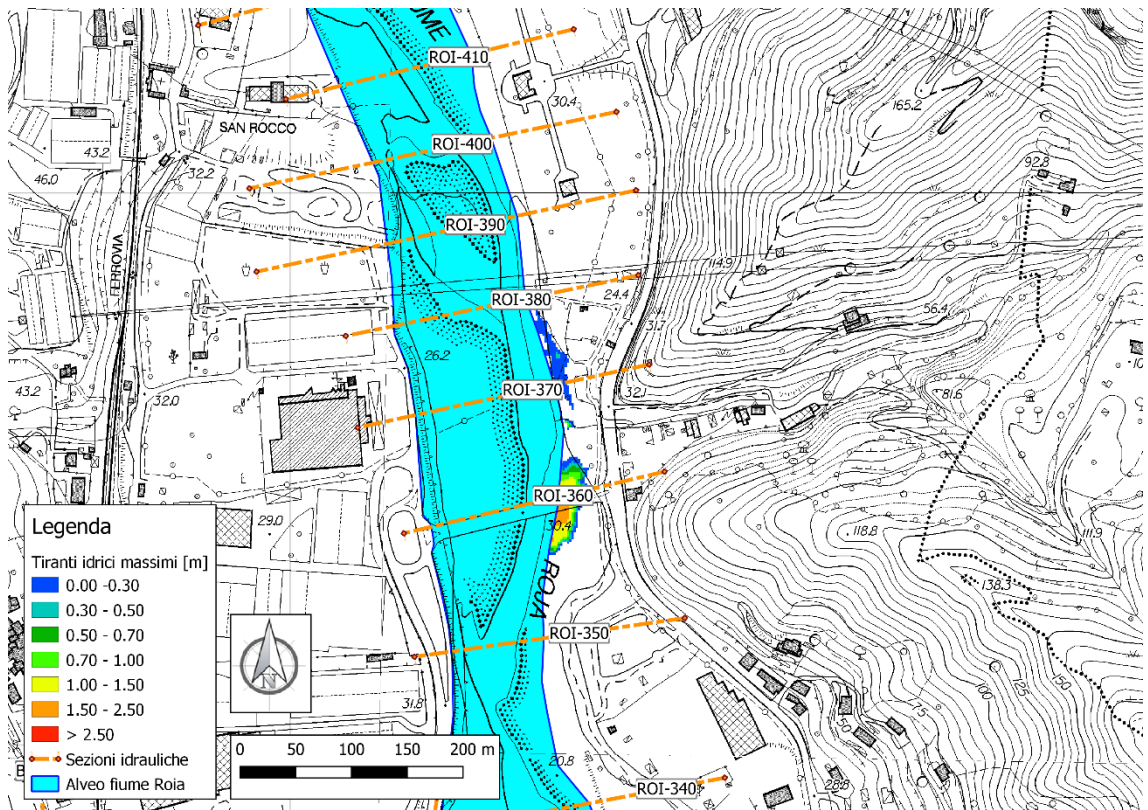


Figura 5.7 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nel tratto a monte del Ponte Roia (ROI-360) per l'evento con tempi di ritorno di 50 anni

Tabella 5.3 Fiume Roia, livelli massimi dei tiranti idrici per lo scenario con tempo di ritorno 50 anni in prossimità delle strutture idrauliche e franco idraulico rispetto alla quota dell'intradosso

Corso d'acqua	SEZ. [-]	Descrizione	Quota intradosso [m s.l.m.]	Sponda sinistra [m s.l.m.]	Sponda destra [m s.l.m.]	W.L. Tr 50 [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
F. Roia	ROI-630_m	Ponte ferroviario Bocche	62.60	71.11	70.01	51.92	10.68
F. Roia	ROI-630_v		62.60	71.01	69.91	49.70	12.90
F. Roia	ROI-360_m	Ponte Roia	28.66	25.12	31.37	25.94	2.72
F. Roia	ROI-360_v		28.66	25.02	31.27	25.86	2.80
F. Roia	ROI-260_m	Ponte Antonio Aniante	19.80	24.34	21.42	16.69	3.11
F. Roia	ROI-260_v		19.80	24.24	21.32	16.60	3.20
F. Roia	ROI-190_m	Ponte al raccordo autostradale	17.25	15.05	16.13	13.00	4.25
F. Roia	ROI-190_v		17.25	14.95	16.03	12.53	4.72
F. Roia	ROI-150_m	Viadotto Roia (autostrada dei Fiori)	20.60	15.42	11.92	10.11	10.49
F. Roia	ROI-150_v		20.60	15.42	11.92	9.87	10.73
F. Roia	ROI-100_m	Ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo	7.60	9.75	9.75	6.56	1.04
F. Roia	ROI-100_v		7.60	9.65	9.65	6.35	1.25
F. Roia	ROI-60_m	Ponte Cassini	7.54	8.92	8.85	5.71	1.83
F. Roia	ROI-60_v		7.54	8.82	8.75	5.63	1.92
F. Roia	ROI-50_m	Ponte Andrea Doria	7.58	9.05	9.11	5.57	2.01
F. Roia	ROI-50_v		7.58	8.95	9.01	4.27	3.31
F. Roia	ROI-10_m	Passerella pedonale Squarciafichi	3.23	4.57	4.57	3.25	-0.02
F. Roia	ROI-10_v		3.23	4.47	4.47	2.55	0.68

### 5.1.3.2 Risultati per tempo di ritorno 200 anni

Lo scenario di inondazione avente tempo di ritorno 200 anni mostra un'estensione significativa dell'area allagabile, che interessa sia zone ad uso agricolo ed industriale, nel tratto più a monte, che il centro abitato della città di Ventimiglia.

Procedendo da monte verso valle, si riscontra un ampliamento dell'area allagabile in prossimità di località Trucco, già interessata dall'evento con tempo di ritorno cinquantennale. In quest'area, la diversa morfologia del terreno si traduce in diversa entità dei massimi tiranti idrici, con aree più depresse in cui i valori raggiungono i 2 metri ed aree più rialzate in cui i tiranti sono inferiori ai 70 cm. Si riporta in Figura 5.8 la mappatura dei tiranti massimi della zona descritta.

Più a valle, nel tratto compreso tra le sezioni ROI-540 e ROI-510, l'esondazione interessa le aree limitrofe al corso d'acqua su entrambe le sponde. In sponda destra vengono raggiunte dalla propagazione dell'onda di piene diverse aree comprese tra Via Comunale di Varase ed il corso d'acqua. In sponda sinistra si determina un ampliamento dell'area rurale già identificata nello scenario con portata cinquantennale. La distribuzione dei tiranti massimi in quest'area è raffigurata in Figura 5.9.



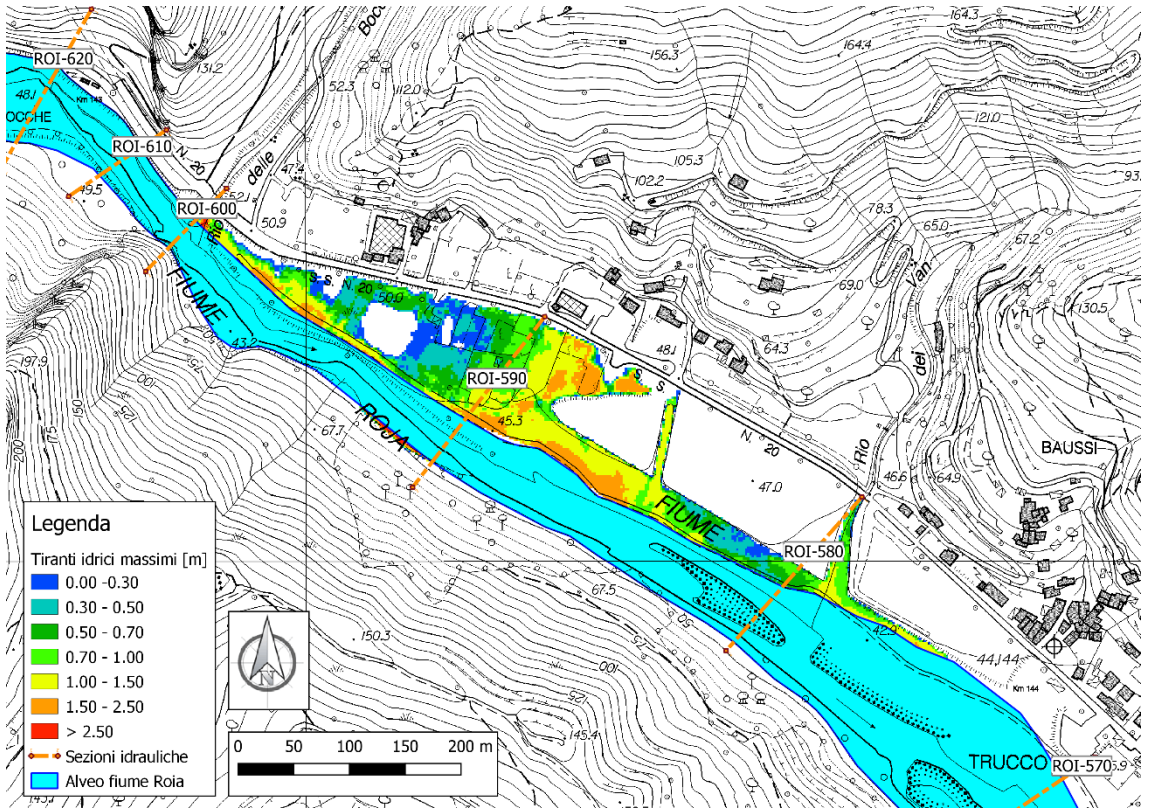


Figura 5.8 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi presso località Trucco per l'evento con tempi di ritorno di 200 anni

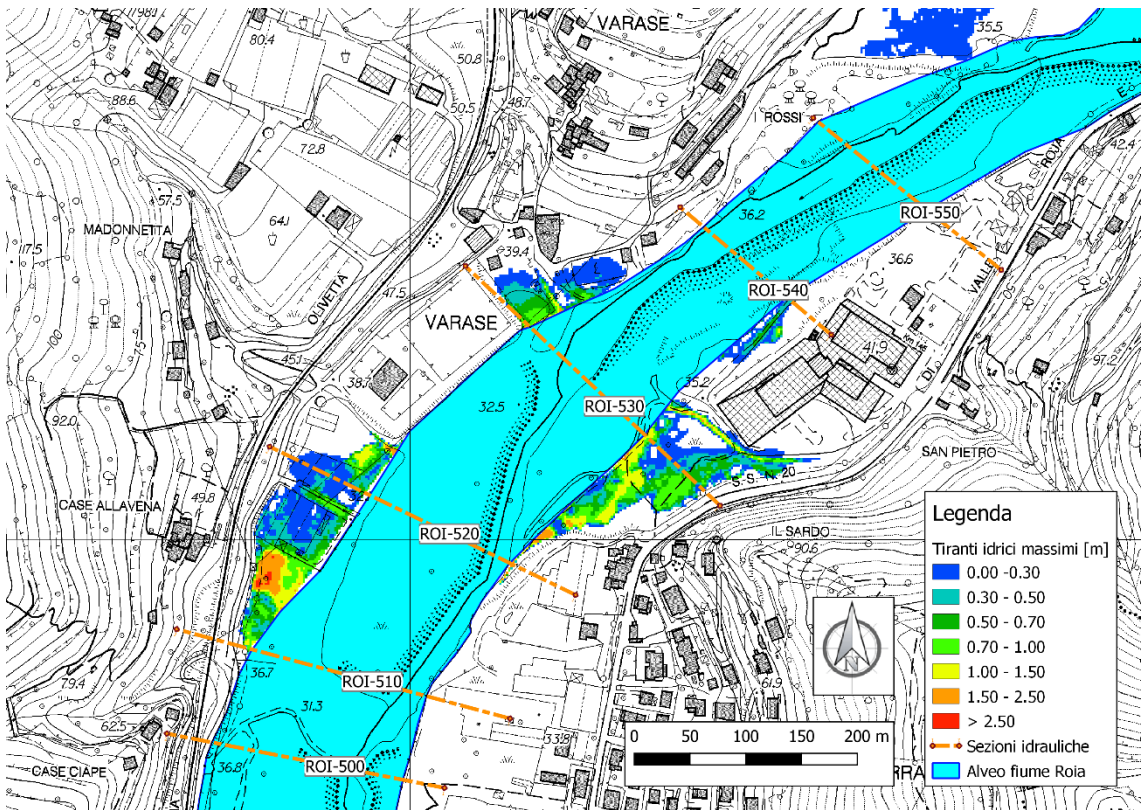


Figura 5.9 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nei pressi della sezione idraulica ROI-530 per l'evento con tempi di ritorno di 200 anni



Tra le aree esondabili più significative si identifica quella in sponda sinistra al corso d'acqua, nel tratto compreso tra le sezioni ROI-430 e ROI-360 (Ponte Roia). Nel tratto subito a monte del Ponte Roia, parzialmente interessato anche dalla portata cinquantennale, i tiranti risultano significativi, con valori locali che raggiungono i 2 metri. Nel tratto più a monte, in prossimità dell'area dell'Acquedotto di Mentone e Ventimiglia, l'estensione rimane confinata dai riempimenti presenti lungo l'area, così come riportato in Figura 5.10.

Avvicinandosi al centro cittadino di Ventimiglia, la prima area interessata da esondazione è il piazzale, ad oggi utilizzato come parcheggio, localizzato tra Via Tenda e l'argine sinistro del fiume Roia. In questo tratto i tiranti sono di modesta entità, con valori mediamente compresi tra i 0.1 – 0.5 m. Nonostante la limitata estensione dell'area allagabile, i tiranti in alveo sono prossimi al superamento della sponda di destra, con un livello del pelo libero che risulta di circa 10 cm al di sotto di essa.

Nel tratto terminale del corso d'acqua, principalmente tra le sezioni ROI-30 e ROI-10, il fiume Roia esonda su entrambe le sponde con conseguente propagazione nel centro abitato di Ventimiglia. In sponda destra l'estensione risulta più limitata rispetto a quanto accade in sponda sinistra, dove le caratteristiche orografiche della zona ne limitano la propagazione. Tuttavia, quest'area è raggiunta da tiranti dell'ordine di 1 m e velocità a tratti anche superiori ai 2 m/s.

In sponda sinistra l'esondazione si distribuisce in tutta il centro urbano, rimanendo confinata a nord da Via Cavour e ad est da Via Chiappori. In quest'area la distribuzione dei tiranti e le velocità è variabile a seconda della morfologia delle diverse aree, a tratti sopraelevate, a tratti depresse. Si riporta in Figura 5.11 la distribuzione dei tiranti massimi dell'area descritta.

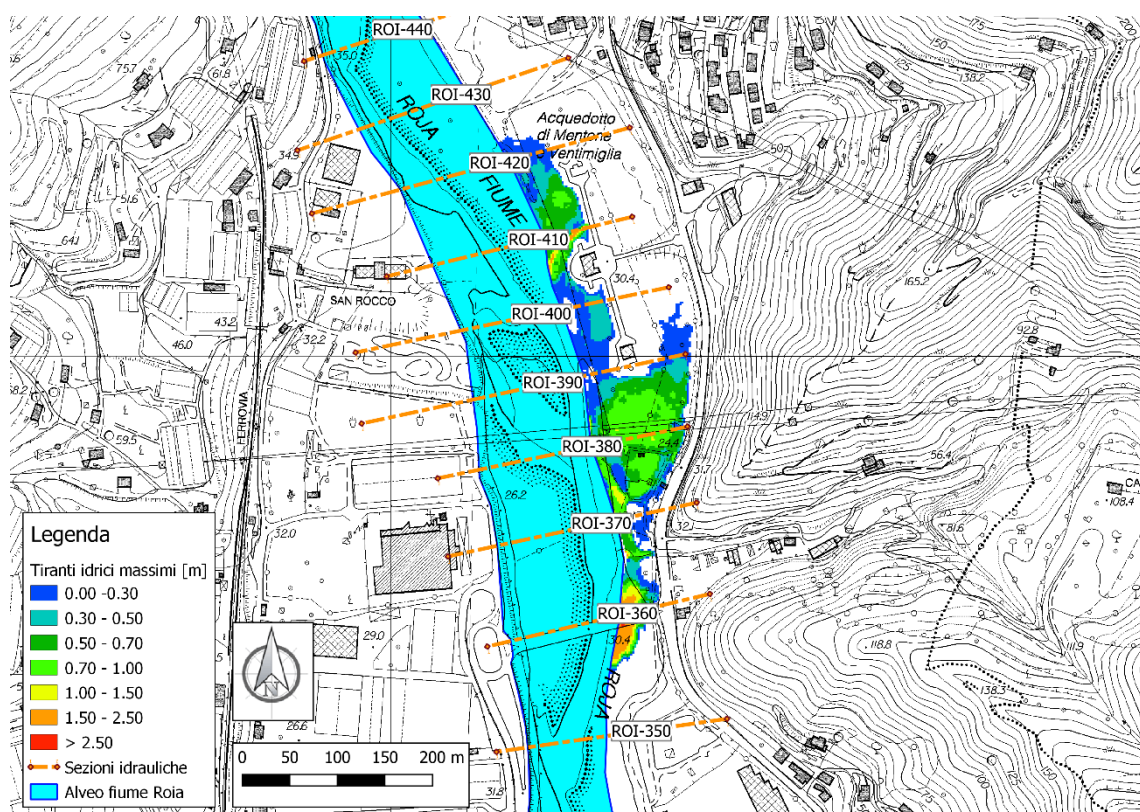


Figura 5.10 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nel tratto a monte del Ponte Roia (ROI-360) per l'evento con tempi di ritorno di 200 anni

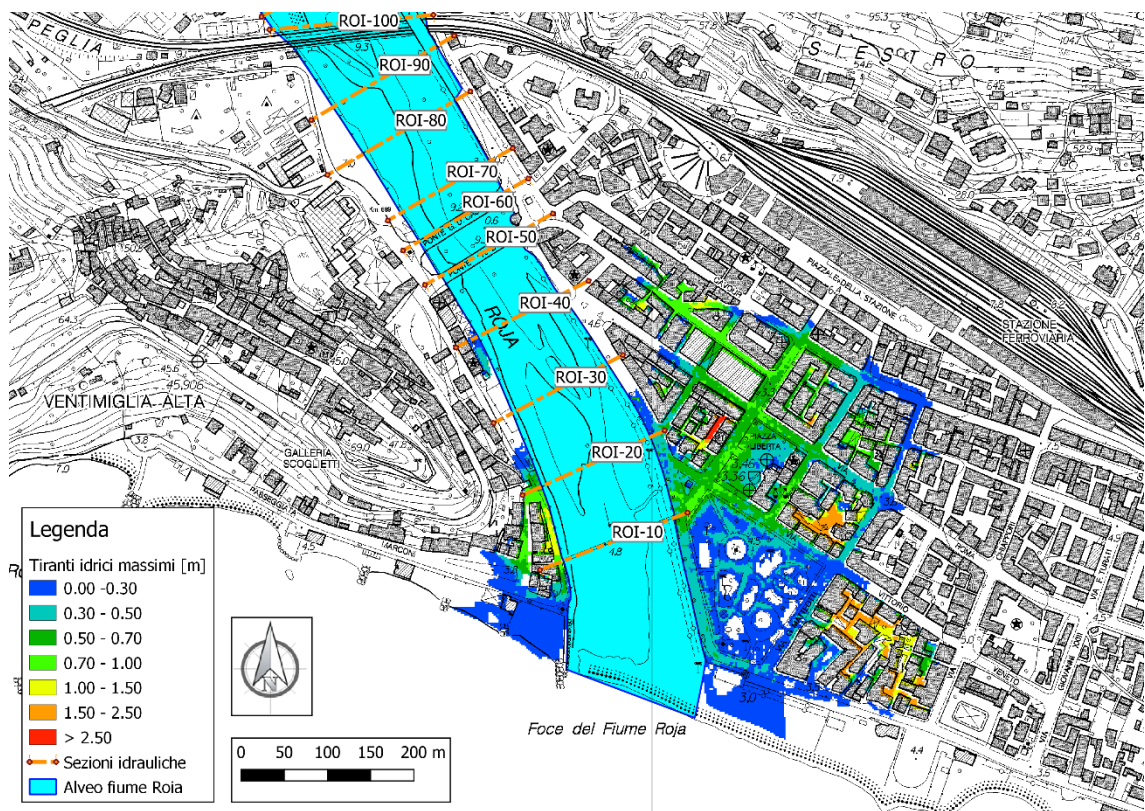


Figura 5.11 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nel tratto terminale del corso d'acqua presso il centro del Comune di Ventimiglia per l'evento con tempi di ritorno di 200 anni

Le opere di attraversamento del corso d'acqua, il cui intradosso è raggiunto dall'onda di piena, risultano essere la Passerella pedonale Squarciafichi e i ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo. Si sottolinea anche un franco idraulico inferiore al metro sia per Ponte Cassini che per il Ponte Andrea Doria, nelle rispettive sezioni di monte. Si riporta in Tabella 5.4 l'insieme di tutti i tiranti idrici massimi in corrispondenza dei ponti ed i rispettivi franchi idraulici rispetto alla quota dell'intradosso, mentre si rimanda all'Allegato 0 per una completa visione delle grandezze idrauliche su tutte le sezioni implementate.

Come già emerso per la portata cinquantennale, la Passerella Squarciafichi risulta un elemento di criticità per la propagazione dell'onda di piena. L'erosione infatti nel tratto terminale è dovuta ad un innalzamento del profilo proprio a monte di essa causato dal restringimento localizzato indotto dal manufatto antropico.

Un secondo elemento di criticità idraulica risultano essere gli attraversamenti ferroviari in prossimità della sezione ROI-100. Anche in questo caso, il forte restringimento localizzato determina un innalzamento del profilo idraulico a monte di essa, con superamento delle quote spondali in sinistra e un ridotto franco in sponda destra per le sezioni poste a monte dell'opera stessa (sezione ROI-110).

Tabella 5.4 Fiume Roia, livelli massimi dei tiranti idrici per lo scenario con tempo di ritorno 200 anni in prossimità delle strutture idrauliche e franco idraulico rispetto alla quota dell'intradosso

Corso d'acqua	SEZ. [-]	Descrizione	Quota intradosso [m s.l.m.]	Sponda sinistra [m s.l.m.]	Sponda destra [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
F. Roia	ROI-630_m	Ponte ferroviario Bocche	62.60	71.11	70.01	53.52	9.08
F. Roia	ROI-630_v		62.60	71.01	69.91	50.68	11.92
F. Roia	ROI-360_m	Ponte Roia	28.66	25.12	31.37	26.62	2.04
F. Roia	ROI-360_v		28.66	25.02	31.27	26.53	2.13
F. Roia	ROI-260_m	Ponte Antonio Aniante	19.80	24.34	21.42	17.41	2.39
F. Roia	ROI-260_v		19.80	24.24	21.32	17.32	2.48
F. Roia	ROI-190_m	Ponte al raccordo autostradale	17.25	15.05	16.13	13.81	3.44
F. Roia	ROI-190_v		17.25	14.95	16.03	13.18	4.07
F. Roia	ROI-150_m	Viadotto Roia (autostrada dei Fiori)	20.60	15.42	11.92	10.77	9.83
F. Roia	ROI-150_v		20.60	15.42	11.92	10.67	9.93
F. Roia	ROI-100_m	Ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo	7.60	9.75	9.75	7.72	-0.12
F. Roia	ROI-100_v		7.60	9.65	9.65	7.45	0.15
F. Roia	ROI-60_m	Ponte Cassini	7.54	8.92	8.85	6.85	0.69
F. Roia	ROI-60_v		7.54	8.82	8.75	6.77	0.77
F. Roia	ROI-50_m	Ponte Andrea Doria	7.58	9.05	9.11	6.70	0.88
F. Roia	ROI-50_v		7.58	8.95	9.01	5.05	2.54
F. Roia	ROI-10_m	Passerella pedonale Squarciafichi	3.23	4.57	4.57	4.06	-0.83
F. Roia	ROI-10_v		3.23	4.47	4.47	2.95	0.28

### 5.1.3.3 Risultati per tempo di ritorno 500 anni

Lo scenario di esondazione avente tempo di ritorno 500 anni mostra un notevole incremento dell'area esondabile rispetto agli scenari precedenti; oltre ad un ampliamento delle fasce già individuate, viene interessata in modo significativo l'area urbanizzata collocata nel tratto del fiume Roia posta a valle del ponte autostradale.

Nei pressi di località Trucco l'estensione dell'area esondabile non aumenta in maniera significativa rispetto a quanto evidenziato per lo scenario duecentennale, mentre risultano decisamente più consistenti i massimi tiranti idrici, con valori mediamente più elevati di circa 80-120 %.

Poco più a valle, nel tratto compreso tra le sezioni ROI-560 e ROI-510, l'esondazione interessa le aree già potenzialmente coinvolte dall'evento duecentennale, con un incremento in termini di estensione, tiranti e velocità. Oltre a queste aree, risulta esondabile anche la fascia limitrofa al corso d'acqua in sponda destra caratterizzata da ingente presenza di vegetazione.

Fino alla confluenza con il torrente Bevera, le macro-aree interessate da esondazione sono per lo più quelle già identificate dagli scenari più probabili. Tuttavia, l'estensione di queste aree risulta più ampia così come risultano più elevati i massimi tiranti idrici e le velocità.

Proseguendo verso valle, l'esondazione interessa diverse macro-aree ricadenti nel tratto più urbanizzato del bacino.



Nella zona a valle del ponte autostradale, il fiume Roia esonda da entrambe le sponde principalmente tra le sezioni ROI-130 e ROI-100, interessando la zona di Peglia, in sponda destra e l'area limitrofa a Corso Limone Piemonte e Via Tenda in sponda sinistra. L'esondazione lungo questo tratto è determinata dal brusco restringimento dovuto alla presenza dei ponti ferroviari in prossimità della sezione ROI-100 che determina l'innalzamento del profilo idraulico nel tratto a monte. Il volume d'acqua esondato si distribuisce nel territorio limitrofo a seconda dell'orografia della zona confluendo, in sponda destra, fino a valle della ferrovia attraversando i sottopassaggi carrabili di Via Peglia e Via Freccero. Si riporta in Figura 5.12 la mappatura dei tiranti massimi dell'area descritta.

A valle della ferrovia, le sponde arginali vengono superate in diversi tratti, determinando l'esondazione visibile in Figura 5.13. In sponda sinistra al fiume, l'estensione è pressoché limitata a nord dal piazzale della stazione e ad est da Via Chiappori. In sponda destra, l'esondazione si estende in tutta l'area limitrofa a Via Freccero, il tratto della Via Aurelia che collega Via Freccero e Via Trossarelli, per poi proseguire fino a Piazza Marconi. I tiranti in quest'area raggiungono livelli piuttosto elevati, con valori superiori ai 2.5 metri, nelle zone più depresse.

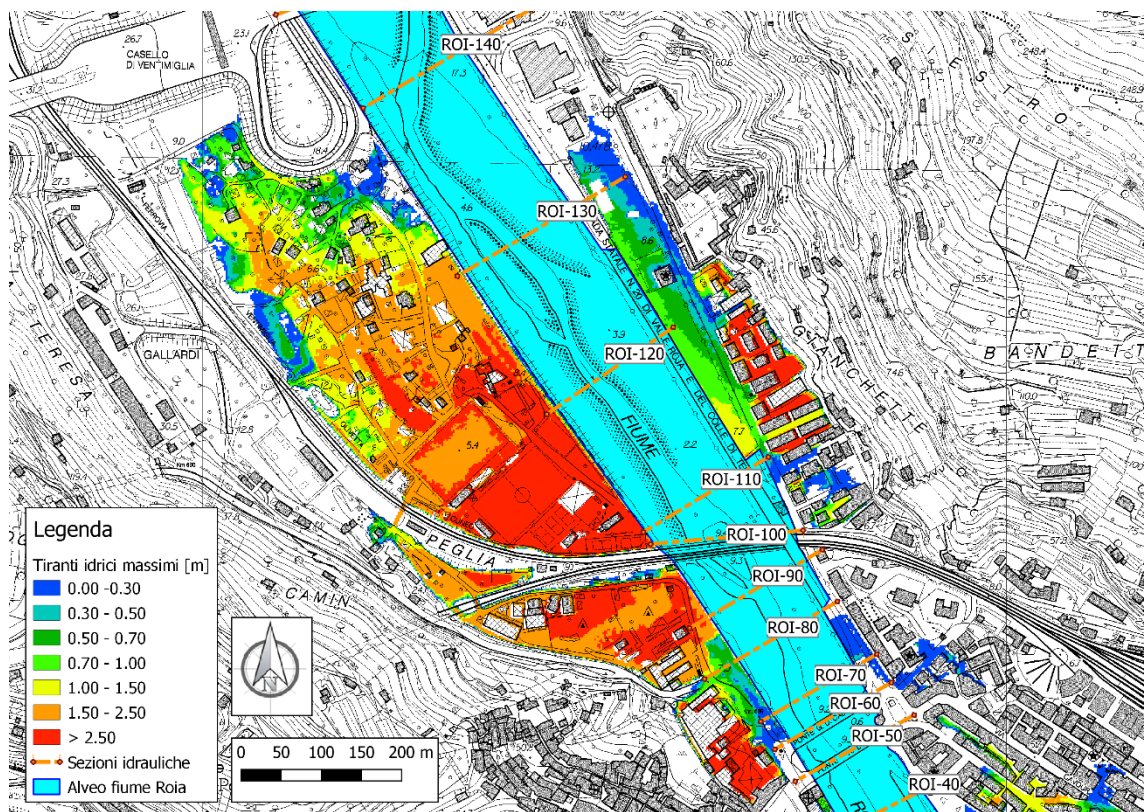


Figura 5.12 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi per l'evento con tempi di ritorno di 500 anni nel tratto del corso d'acqua compreso tra il ponte dell'autostrada dei Fiori e gli attraversamenti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo



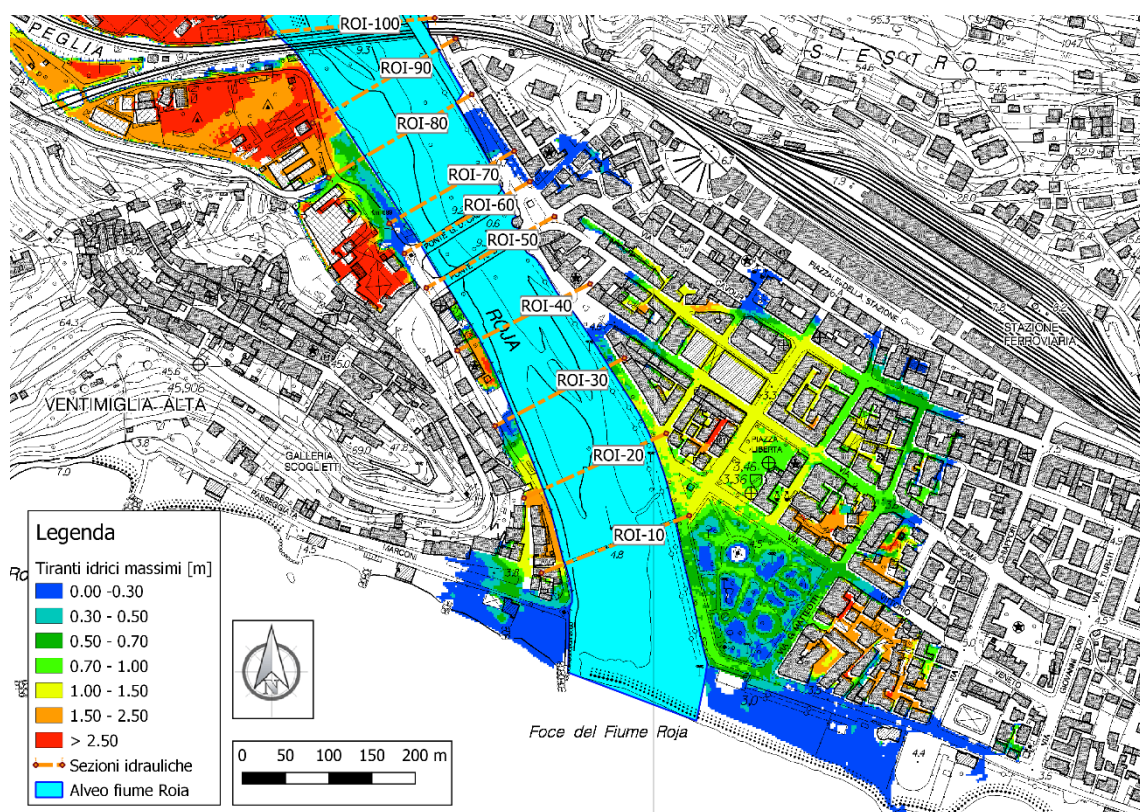


Figura 5.13 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nel tratto terminale del corso d'acqua presso il centro del Comune di Ventimiglia per l'evento con tempi di ritorno di 500 anni

I ponti più critici dal punto di vista idraulico per questo scenario sono risultati quelli del tratto terminale del corso d'acqua, a partire dai ponti della linea ferroviaria Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo, Ponte Cassini, Ponte Andrea Doria e la passerella pedonale Squarciafichi. Si riporta in Tabella 5.5 l'insieme di tutti i tiranti idrici massimi in corrispondenza dei ponti ed i rispettivi franchi idraulici rispetto alla quota dell'intradosso, mentre si rimanda all'Allegato 0 per una completa visione delle grandezze idrauliche su tutte le sezioni implementate.

Tabella 5.5 Fiume Roia, livelli massimi dei tiranti idrici per lo scenario con tempo di ritorno 500 anni di in prossimità delle strutture idrauliche e franco idraulico rispetto alla quota dell'intradosso

Corso d'acqua	SEZ. [-]	Descrizione	Quota intradosso [m s.l.m.]	Sponda sinistra [m s.l.m.]	Sponda destra [m s.l.m.]	W.L. Tr 500 [m s.l.m.]	Franco idraulico [m]
F. Roia	ROI-630_m	Ponte ferroviario Bocche	62.60	71.11	70.01	54.51	8.10
F. Roia	ROI-630_v		62.60	71.01	69.91	51.28	11.32
F. Roia	ROI-360_m	Ponte Roia	28.66	25.12	31.37	27.12	1.54
F. Roia	ROI-360_v		28.66	25.02	31.27	26.92	1.74
F. Roia	ROI-260_m	Ponte Antonio Aniante	19.80	24.34	21.42	17.88	1.92
F. Roia	ROI-260_v		19.80	24.24	21.32	17.79	2.01
F. Roia	ROI-190_m	Ponte al raccordo autostradale	17.25	15.05	16.13	14.37	2.88
F. Roia	ROI-190_v		17.25	14.95	16.03	13.61	3.64
F. Roia	ROI-150_m	Viadotto Roia (autostrada dei Fiori)	20.60	15.42	11.92	11.29	9.31
F. Roia	ROI-150_v		20.60	15.42	11.92	11.27	9.33
F. Roia	ROI-100_m	Ponti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo	7.60	9.75	9.75	8.62	-1.02
F. Roia	ROI-100_v		7.60	9.65	9.65	8.25	-0.65
F. Roia	ROI-60_m	Ponte Cassini	7.54	8.92	8.85	7.67	-0.13
F. Roia	ROI-60_v		7.54	8.82	8.75	7.59	-0.05
F. Roia	ROI-50_m	Ponte Andrea Doria	7.58	9.05	9.11	7.51	0.07
F. Roia	ROI-50_v		7.58	8.95	9.01	5.60	1.98
F. Roia	ROI-10_m	Passerella pedonale Squarciafichi	3.23	4.57	4.57	4.82	-1.59
F. Roia	ROI-10_v		3.23	4.47	4.47	3.15	0.08

#### 5.1.3.4 Profili idraulici

Si rimanda all' Allegato 0 per la completa restituzione dei risultati delle simulazioni idrauliche in alveo. A seguire, si riportano in Figura 5.14 e Figura 5.15 rispettivamente i profili idraulici per gli scenari esaminati del fiume Roia suddiviso, per semplicità espositiva, nel tratto da località Trucco a monte della confluenza del torrente Bevera, (ROI-640 – ROI-340) ed il tratto successivo che termina a mare (ROI-340 – ROI-BC).

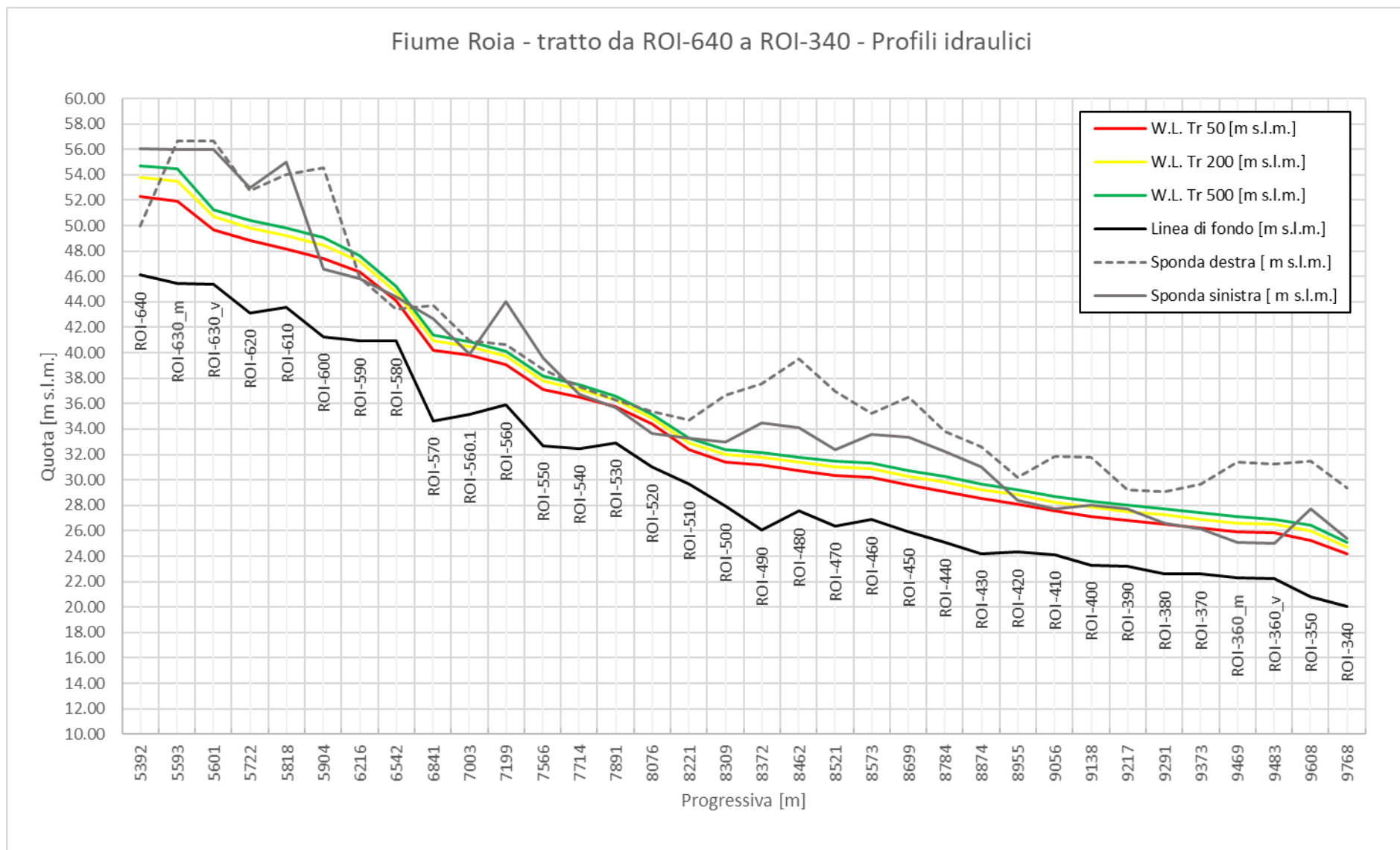


Figura 5.14 Fiume Roia, tratto compreso tra sezione ROI-640 e ROI-340 – Sovrapposizione dei profili del massimo livello della corrente in alveo per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde. Nel grafico sono rappresentati anche il profilo di fondo, con linea nera; il profilo di sponda destra e sinistra rispettivamente con linea grigia tratteggiata e continua

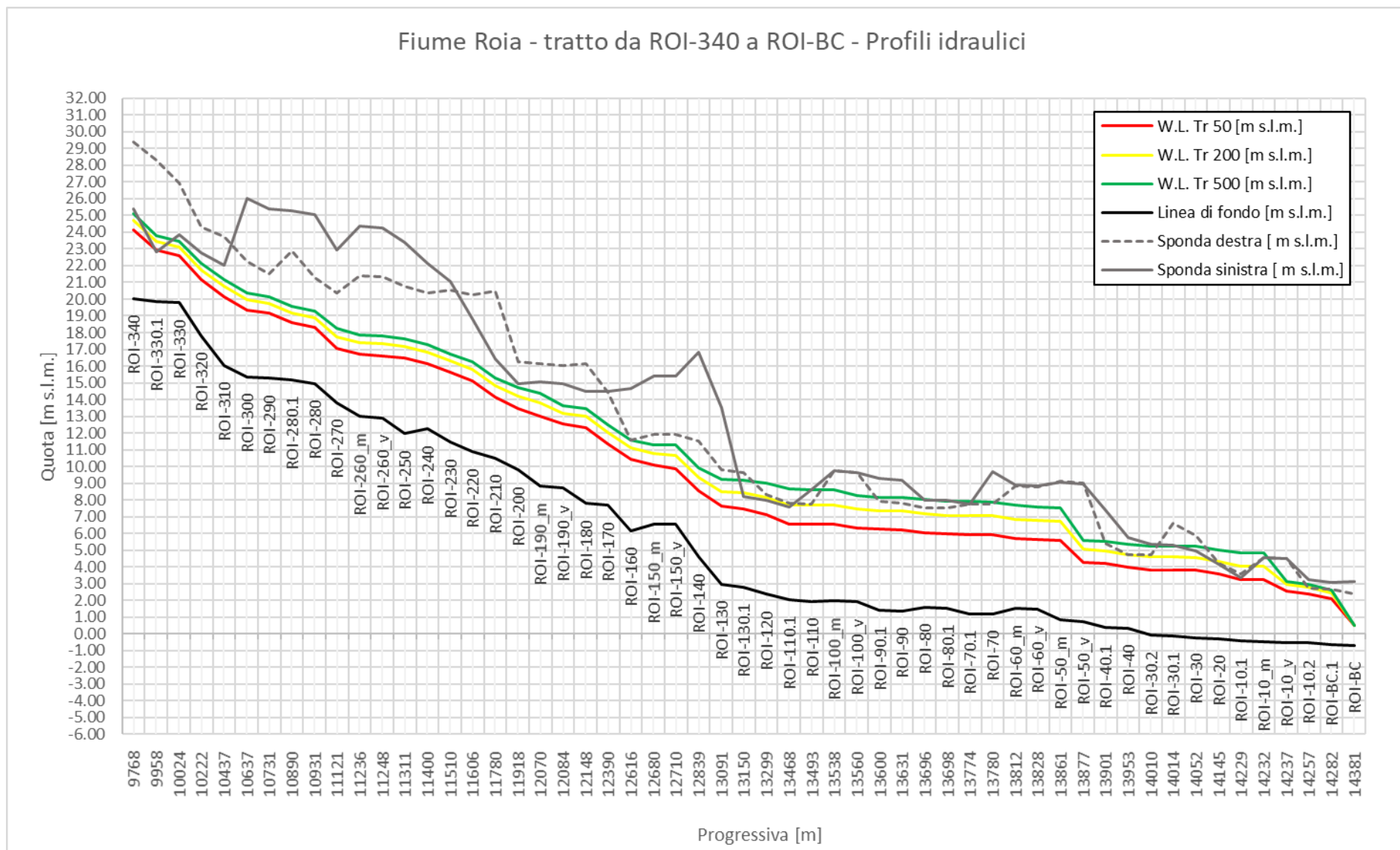


Figura 5.15

Fiume Roia, tratto compreso tra sezione ROI-340 e ROI-BC - Sovrapposizione dei profili del massimo livello della corrente in alveo per eventi con tempo di ritorno rispettivamente pari a 50 anni in rosso, 200 anni in giallo, 500 anni in verde. Nel grafico sono rappresentati anche il profilo di fondo, con linea nera; il profilo di sponda destra e sinistra rispettivamente con linea grigia tratteggiata e continua



## 6 Proposta di fasce di pericolosità idraulica

### 6.1 Premessa

Le fasce di inondabilità sono definite nella Norme di Attuazione del Piano di Bacino del Fiume Roia - Ambito n°1, in particolare al Capo II, Art. 12, "Individuazione e categorie di aree". Tale definizione è di seguito integralmente riportata.

*Fasce di inondabilità: sono individuate nella Tav. 11 – Carta delle fasce fluviali – ed articolate nel modo seguente:*

- Fascia A – pericolosità idraulica molto elevata: aree perfluviali inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=50 anni;
- Fascia B – pericolosità idraulica media: aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni;
- Fascia C – pericolosità idraulica bassa: aree perfluviali, esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=500 anni;
- Fascia A\* - aree storicamente inondate: aree storicamente inondate, per le quali non siano avvenute modifiche definitive del territorio tali da escludere il ripetersi dell'evento, ovvero aree individuate come a pericolosità elevata in caso di inondazione sulla base di considerazioni geomorfologiche o di altre evidenze di criticità, in corrispondenza delle quali non siano state effettuate nell'ambito del Piano le adeguate verifiche idrauliche finalizzate all'individuazione delle fasce di inondabilità.

In accordo all'ALLEGATO ALLA D.G.R. 91 DEL 01/02/2013 - Criteri per la individuazione di aree a minor pericolosità relativa e di ambiti normativi nella fascia B dei piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico" sono stati definiti gli Ambiti normativi di fascia B, per differenziare la pericolosità idraulica in funzione delle classi di tiranti idrici e di velocità secondo quanto indicato in Figura 6.1.

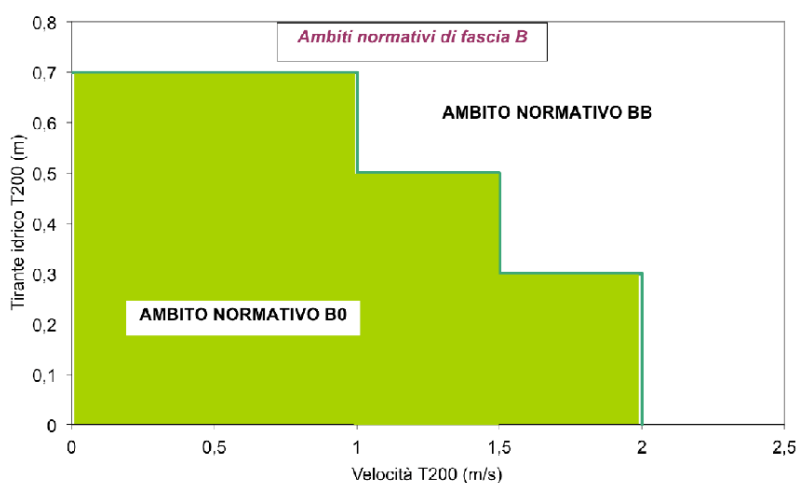


Figura 6.1 Soglie di pericolosità relativa in termini di tirante idrico locale condizionato alla velocità locale ai fini della definizione degli ambiti normativi

Operativamente, per la definizione delle sopraccitate fasce occorre non solamente determinare gli allagamenti degli eventi con i tempi di ritorno specificati, da cui ricavare la perimetrazione, ma svolgere anche una serie di valutazioni di carattere sia idraulico sia urbanistico, che verranno esplicitate nel dettaglio all'interno del presente capitolo.

## 6.2 Criteri per la definizione delle fasce di pericolosità idraulica

Ai fini della perimetrazione delle fasce di pericolosità idraulica occorre procedere in primo luogo all'analisi di dettaglio dei risultati delle simulazioni degli eventi con tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni, precedentemente descritti al Cap. 5. Tale analisi di dettaglio comporta la valutazione dei seguenti aspetti:

- comparazione degli allagamenti determinati dalle simulazioni rispetto alle rispettive fasce di inondabilità attualmente vigenti, al fine di valutare se localmente nei diversi tratti investigati si tratta di una conferma, un restringimento, un ampliamento o una nuova perimetrazione rispetto alle fasce vigenti;
- comparazione dei massimi livelli in alveo con gli impalcati degli attraversamenti, al fine di valutarne il franco idraulico di sicurezza;
- comparazione dei massimi livelli in alveo con le quote spondali in tutte le sezioni del corso d'acqua;
- valutazione del grado di confidenza dei risultati e verifica attraverso l'implementazione di scenari di sensibilità opportunamente definiti.

In generale, nei casi in cui il franco idraulico in alveo sia negativo e sia correttamente rappresentata la propagazione sul dominio bidimensionale degli allagamenti, non occorre svolgere particolari approfondimenti, in quanto si tratta semplicemente di perimetrare entro la fascia quanto coinvolto dalle esondazioni. In termini opposti, invece, nelle sezioni in cui il franco idraulico risulta molto ampio, uguale o superiore al metro, si ritiene tale margine di sicurezza adeguato a considerare non sormontate le sponde (o non raggiunto l'impalcato del ponte) e pertanto le area golenali come non soggette ad allagamento, con l'adeguato margine di sicurezza per poterle escludere dalla perimetrazione delle fasce. Quale ultima configurazione possibile, vi è la possibilità che il franco idraulico risulti positivo ma di entità ridotta, inferiore al metro, nel qual caso è da valutarsi un ulteriore approfondimento.

L'analisi degli eventi con diverso tempo di ritorno ha permesso l'individuazione delle metodologie più appropriate da adottare per i corsi d'acqua oggetto di studio, definite in stretta collaborazione con i tecnici regionali.

Nei casi in cui il massimo livello in alveo risulta inferiore alla quota spondale con un margine limitato, generalmente inferiore al metro, per un numero significativo di sezioni consecutive in modo tale da poter effettivamente identificare un tratto omogeneo di corso d'acqua in tale condizione, occorre valutare la conformazione del territorio situato nelle adiacenze al tratto stesso, ricavabile ad esempio da un'analisi del DTM. Qualora infatti, in prossimità della sponda, sia presente una zona a forte pendenza e senza la presenza di aree pianeggianti in prossimità dell'alveo, il fattore di incertezza di cui può essere affetto il livello di piena non è comunque tale da comportare possibili rilevanti esondazioni, poiché di fatto tali aree disponibili al deflusso non sono presenti. Non si pone quindi il rischio di sottostimare l'estensione delle aree inondabili a causa dei fattori di incertezza dell'analisi idraulica e pertanto non è necessario introdurre particolari coefficienti di sicurezza.

Nei casi in cui invece in prossimità delle sponde con ridotto franco idraulico siano presenti delle aree pianeggianti, potenzialmente inondabili, allora occorre introdurre un fattore di sicurezza che possa considerare un eventuale incremento del massimo livello di piena in alveo al fine di appurare quali aree verrebbero conseguentemente allagate. Operativamente, tale fattore di sicurezza viene introdotto ipotizzando valori più cautelativi di scabrezza, un possibile incremento

del volume di portata o una possibile riduzione della sezione disponibile al deflusso. La modifica dei parametri citati viene stimata sulla base di valutazioni legate a fenomenologie fisiche che possono effettivamente comportare maggiori tiranti idrici in alveo, ma va più generalmente inteso come un coefficiente di sicurezza che include, in modo complessivo, come è usuale pratica ingegneristica, tutti i possibili fattori di incertezza legati, ad esempio, in primo luogo alla definizione della geometria della sezione e dell'idrogramma di piena e in secondo luogo a quei fenomeni fisici correlati agli eventi di piena che tuttavia non vengono rappresentati nella presente analisi idraulica quali il trasporto solido, l'evoluzione del fondo dell'alveo, il trasporto di materiale flottante, oscillazioni del livello di piena per fenomeni di natura turbolenta, ecc.

Per i corsi d'acqua oggetto di studio si tratta pertanto di identificare se esistono e quali siano le porzioni che rientrano nella casistica descritta, da valutare per ognuno degli eventi con assegnato tempo di ritorno, essendo tale configurazione variabile con il massimo livello di piena in alveo.

Dall'esame degli idrogrammi di piena forniti dallo studio idrologico, con particolare riferimento ai tratti d'alveo in cui si ha superamento arginale, si è ritenuto poco significativa l'ipotesi di un possibile incremento del volume di portata al fine di identificare l'estensione e l'entità delle aree allagabili.

È stato altresì analizzato l'impatto dell'incremento di scabrezza in alveo, come meglio specificato nel Cap. 8 risultando tuttavia meno impattante di quanto emerso dall'ipotesi di parzializzazione delle sezioni critiche. Di fatto le criticità più significative del corso d'acqua risultano essere presso i ponti che, come già anticipato, costituiscono i punti dove è più probabile l'instaurarsi di condizioni di moto che favoriscono deposito di materiale sul fondo o flottante.

Come già indicato nel Par. 5.1.3.1, l'onda di piena generata dall'evento cinquantennale del fiume Roia attraversa la sezione terminale del corso d'acqua, ROI-10, con un franco idraulico rispetto all'intradosso della passerella Pedonale pressoché nullo. Per questo evento si è deciso di ipotizzare la parzializzazione della sezione ROI-10, quantificabile in una riduzione della sezione di circa il 10 % determinata ipotizzando l'occlusione della prima luce da sinistra della passerella, come mostrato in Figura 6.2.

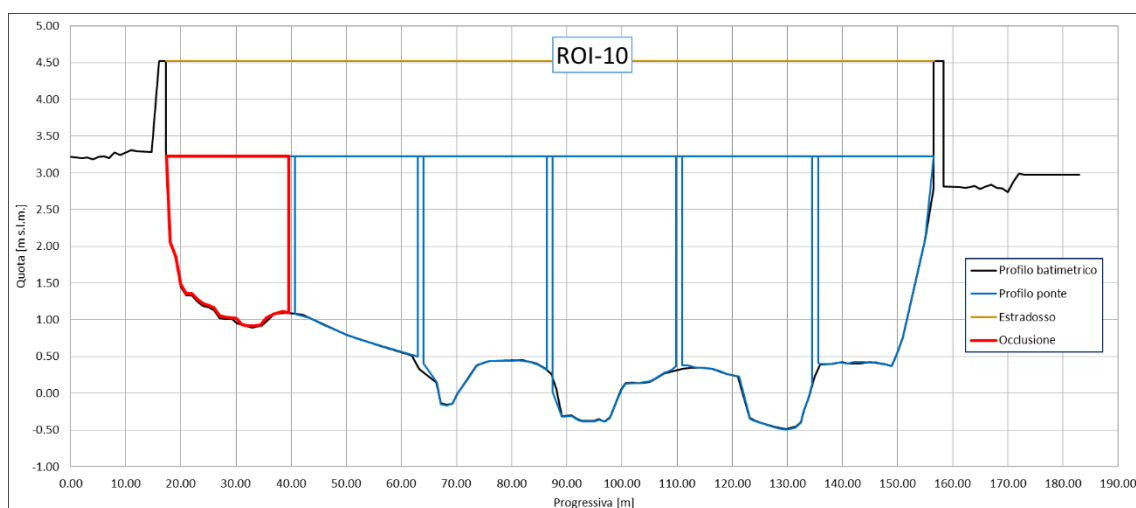


Figura 6.2 Sezione ROI-10 nell'ipotesi di parzializzazione determinata dall'occlusione della prima luce in sinistra (rosso)

Dato il notevole impatto della sezione ROI-10 sull'area esondabile nel centro di Ventimiglia, si è deciso di simulare anche l'evento duecentennale nella stessa ipotesi di parzializzazione della sezione, per valutare una possibile estensione significativa dell'area allagabile rispetto a quanto già identificato nelle condizioni attuali.

Per l'evento duecentennale, dato il limitato franco idraulico rispetto alle quote spondali nel tratto a monte della sezione ROI-100, ed il potenziale impatto sull'area allagabile che una potenziale occlusione di questa sezione potrebbe generare, è stato simulato lo scenario di sensitività che considera la parzializzazione della sezione stessa, in questo caso quantificabile in una riduzione della sezione di circa il 15 %. definita ipotizzando un accumulo di materiale detritico nelle luci dei ponti poste alle estremità, come mostrato in Figura 6.3.

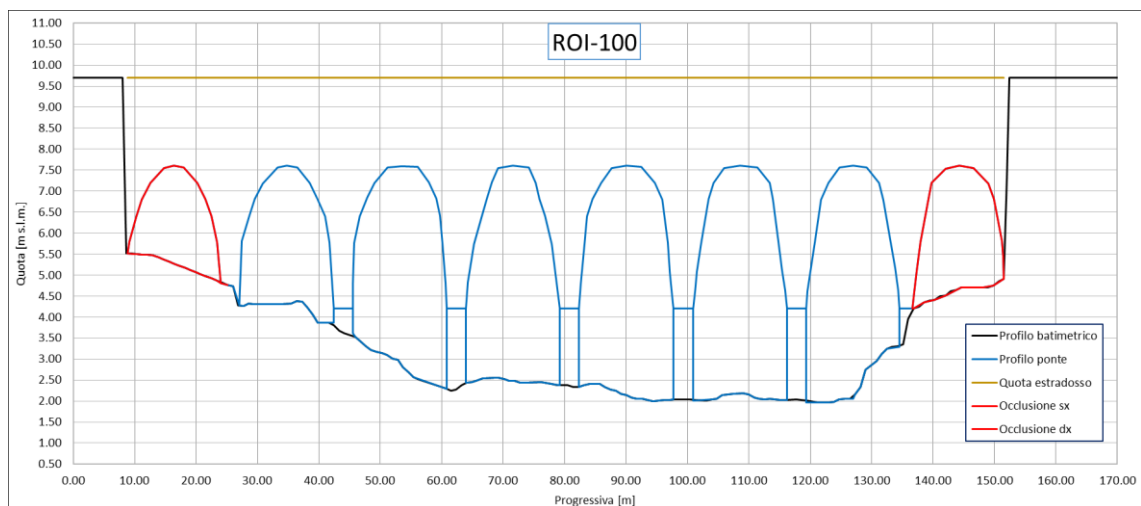


Figura 6.3 Sezione ROI-100 nell'ipotesi di parzializzazione determinata dall'occlusione delle luci poste all'estremità del ponte (rosso)

Per ciò che concerne il torrente Bevera non sono state adottate le metodologie finora citate in quanto non risulterebbero un valore aggiunto nella definizione delle aree allagabili. I ponti infatti risultano con franchi di sicurezza adeguati a tutti gli scenari ed il corso d'acqua non presenta sezioni particolarmente critiche. Tuttavia, si è voluto valutare l'impatto di eventi alluvionali più intensi, capaci di generare idrogrammi più consistenti rispetto a quelli già definiti. Per ognuno dei tempi di ritorno, sono stati valutati gli effetti sulle aree esondabili determinati da idrogrammi incrementati del 10 %.

Riassumendo, gli scenari di sensitività analizzati risultano:

- scenario di parzializzazione della sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 50 anni;
- scenario di parzializzazione della sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 200 anni;
- scenario di parzializzazione della sezione ROI-100 per evento con tempo di ritorno 200 anni;
- scenari con incremento di portata nel torrente Bevera.

### 6.3 Scenario di parzializzazione sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 50 anni

Questo scenario nasce dall'esigenza di valutare l'impatto sull'area inondabile di una potenziale riduzione di sezione della passerella pedonale Squarciafichi, posta in prossimità della sezione ROI-10. Nell'attuale assetto geometrico, risulta raggiunto l'intradosso della passerella, con l'onda di piena che rimane confinata all'interno delle arginature seppur con un franco di sicurezza ridotto (pari a circa 10 cm per la sezione ROI-10.1 in sponda sinistra).

Nell'ipotesi di parzializzazione della sezione, l'area utile al deflusso è stata definita ipotizzando l'occlusione della prima luce da sinistra della passerella, corrispondente a circa il 10 %, la cui area risulta già ridotta rispetto alle limitrofe dalla presenza di accumulo di materiale detritico.



L'impatto sull'area allagabile è visibile in Figura 6.4, dove si riporta la mappa dei tiranti massimi nel centro abitato di Ventimiglia. Come mostrano i risultati, per lo scenario analizzato si ha un notevole incremento dell'area esondabile, a discapito di quanto definito nello scenario base, per cui l'onda di piena risultava contenuta nelle arginature. La parzializzazione della sezione determina un incremento dei tiranti tra le sezioni ROI-10 e ROI-20 non contenuta dalle rispettive arginature. I tiranti, seppur mediamente di modesta entità, raggiungono Via Cavour e Via G. Matteotti in sponda sinistra, mentre rimangono limitati al tratto terminale di Via Trossarelli in prossimità della foce.

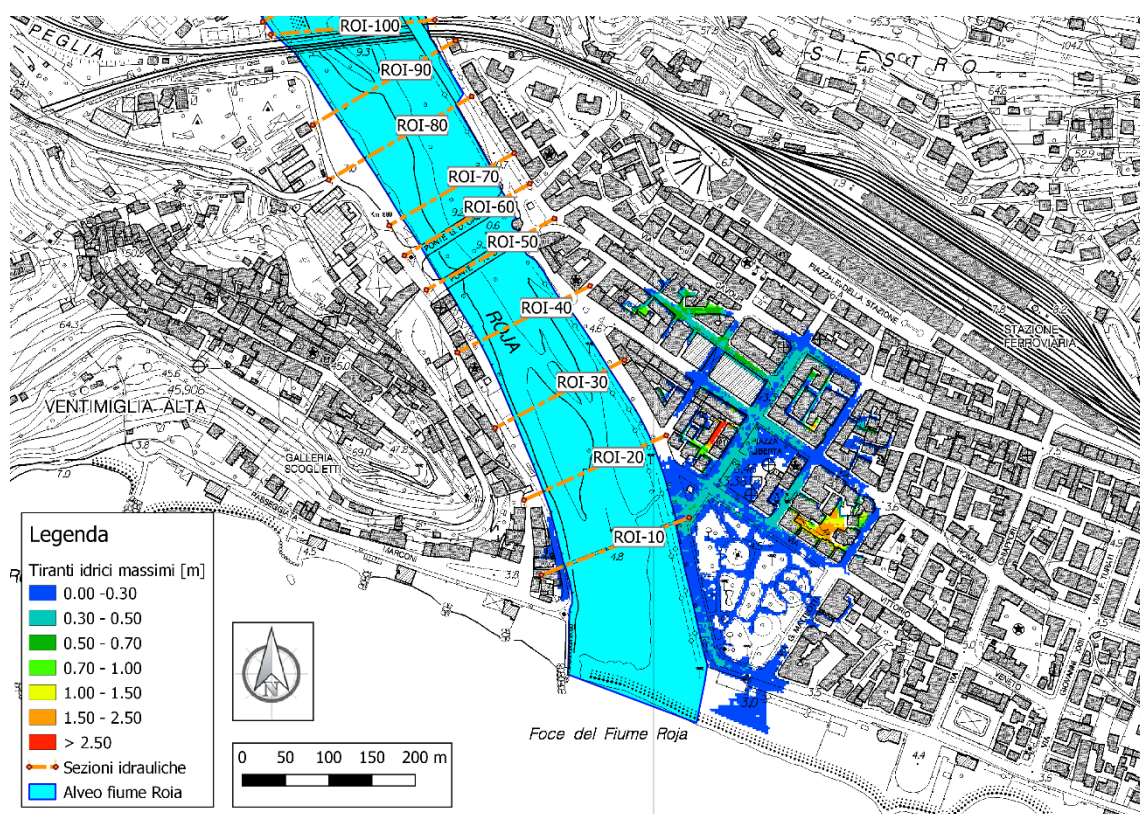


Figura 6.4 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi nel tratto terminale del corso d'acqua presso il centro del Comune di Ventimiglia per l'evento con tempi di ritorno di 50 anni nell'ipotesi di parzializzazione della sezione ROI-10

## 6.4 Scenario di parzializzazione sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 200 anni

Dato il significativo impatto per la città di Ventimiglia determinato dalla parzializzazione della sezione ROI-10 per l'evento cinquantennale, si vuole qui valutare quanto questa ipotesi impatti sull'evento con tempo di ritorno 200 anni.

Si riporta in Figura 6.5 il confronto dell'estensione dell'area inondabile nello scenario attuale e nell'ipotesi di parzializzazione della sezione ROI-10. L'estensione dell'area esondabile risultante dall'ipotesi adottata risulta tendenzialmente maggiore rispetto a quella già identificata dallo scenario attuale. In sponda destra, data la conformazione orografica della zona, l'estensione rimane molto simile e gli edifici interessati risultano quelli già precedentemente individuati. In sponda sinistra si ha un comportamento analogo, con la sola eccezione dell'area lungo la passeggiata G. Oberdan, interessata maggiormente dall'evento di piena.

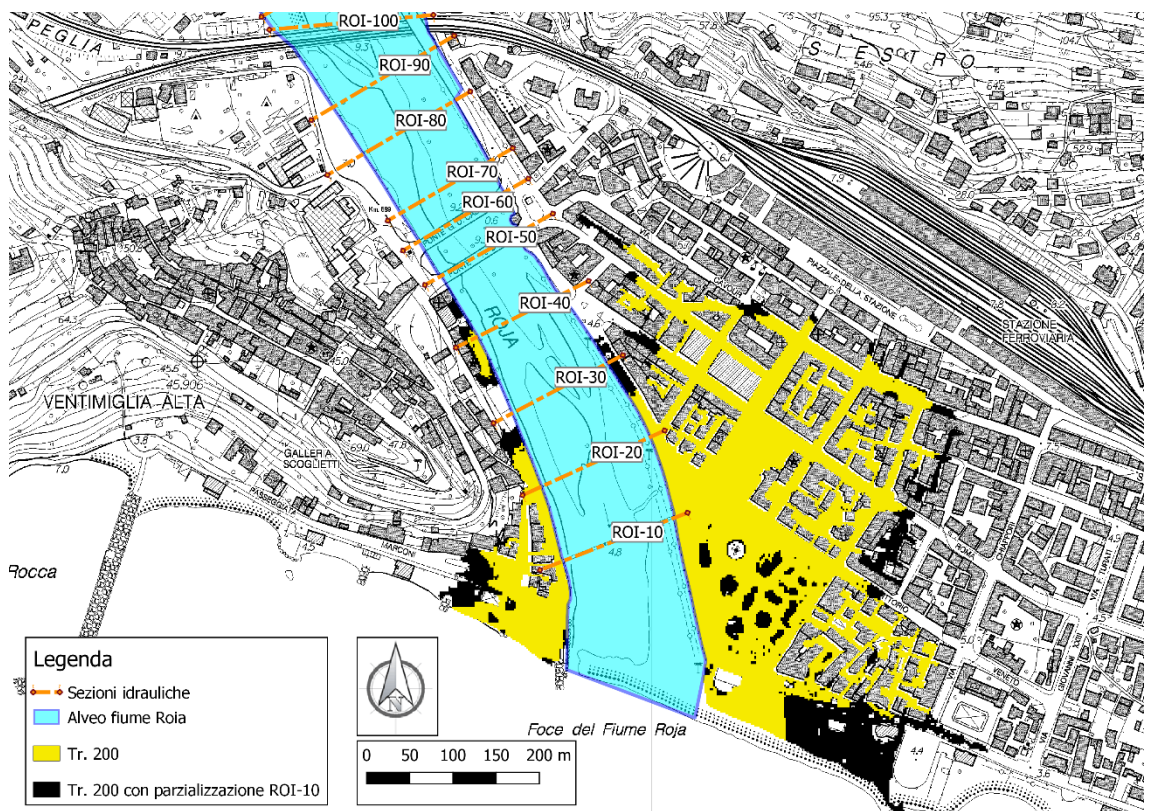


Figura 6.5 Fiume Roia, comparazione dell'estensione degli allagamenti degli eventi con tempo di ritorno 200 anni con e senza parzializzazione della sezione ROI-10, rispettivamente in colore nero e giallo

## 6.5 Scenario di parzializzazione sezione ROI-100 per evento con tempo di ritorno 200 anni

La sezione idraulica ROI-100, rappresentativa degli attraversamenti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo, è risultata potenzialmente critica nel corso di un evento di inondazione duecentennale. Come indicato nel Par. 5.1.3.2, durante l'evento questa struttura va in pressione, determinando un incremento dei tiranti idrici nel tratto di monte. Nello scenario attuale, si ha limitata esondazione in sponda sinistra, mentre in sponda destra i tiranti sono prossimi all'esondazione, seppur ancora contenuti.

Nell'ipotesi di parzializzazione della sezione, l'area utile al deflusso è stata definita ipotizzando un accumulo di materiale detritico nelle luci dei ponti poste alle estremità, con una riduzione totale della sezione idraulica di circa il 15%.

Si riporta in Figura 6.6 la mappa dei tiranti massimi dell'area limitrofa alla sezione ROI-100. L'immagine mostra come, nell'ipotesi considerata, via sia un notevole incremento dell'area esondabile, che interessa principalmente la zona di Peglia dove i tiranti in molte aree raggiungono valori al di sopra dei due metri. Da Via Peglia l'esondazione si propaga fino a Via Freccero passando attraverso i sottopassaggi carrabili presenti al di sotto dei rilevati ferroviari andando ad allagare la zona circostante. In sponda sinistra, l'esondazione va ad interessare le abitazioni in prossimità di Via Tenda e Via Sospello.

Per meglio comprendere l'impatto dell'ipotesi adottata, in termini di estensione di area allagabile, si riporta in Figura 6.7 il confronto degli allagamenti con e senza parzializzazione della sezione.



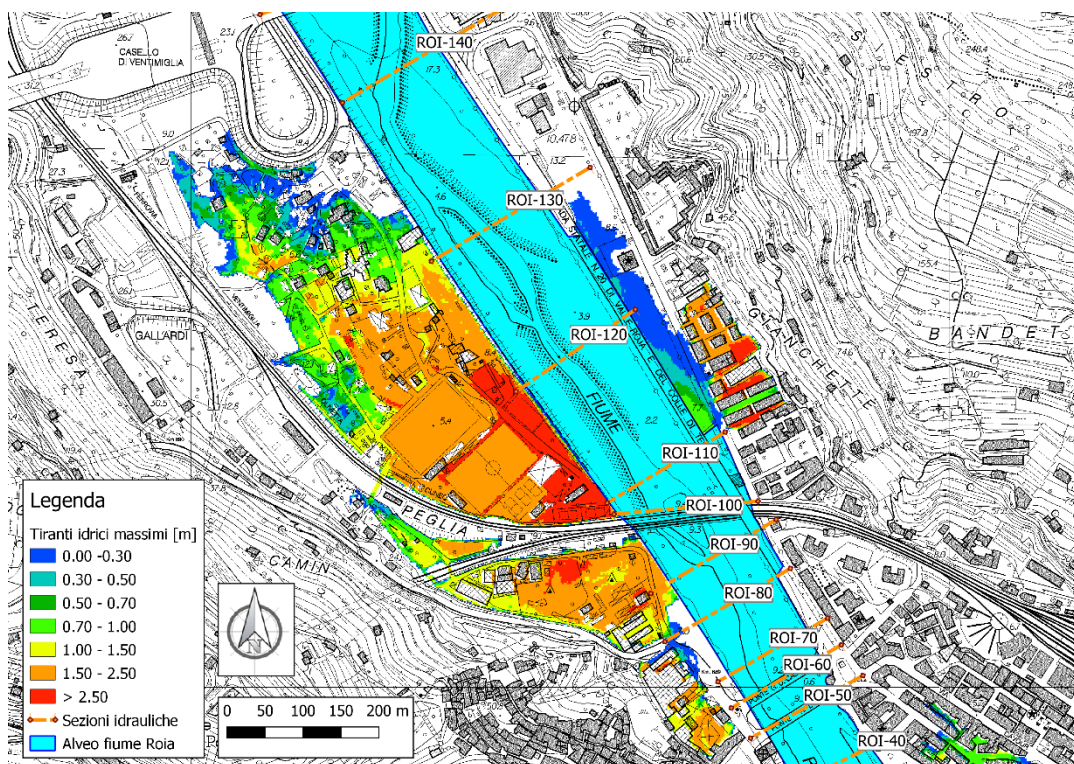


Figura 6.6 Fiume Roia, mappa dei tiranti idrici massimi per l'evento con tempi di ritorno di 200 anni nel tratto del corso d'acqua compreso tra il ponte dell'autostrada dei Fiori e gli attraversamenti ferroviari della linea Ventimiglia-Nizza e Ventimiglia-Cuneo nell'ipotesi di parzializzazione della sezione ROI-100

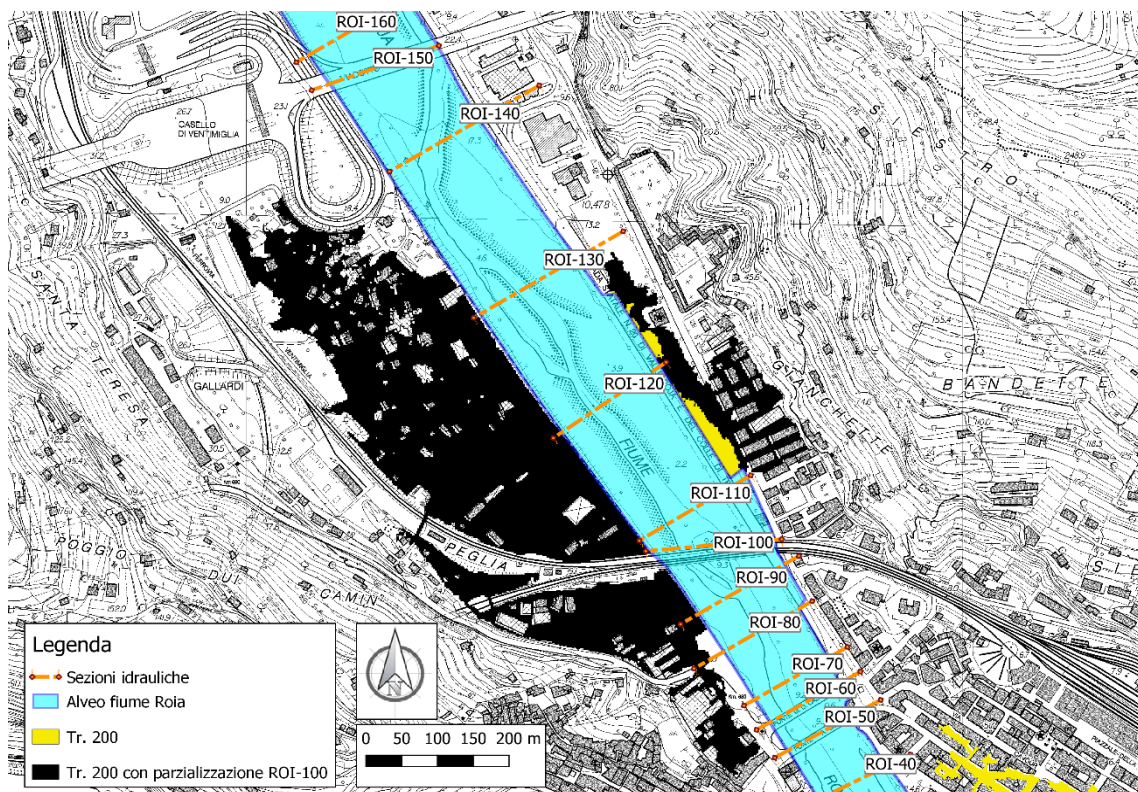


Figura 6.7 Fiume Roia, comparazione dell'estensione degli allagamenti degli eventi con tempo di ritorno 200 anni con e senza parzializzazione della sezione ROI-100, rispettivamente in colore nero e giallo

## 6.6 Scenario con incremento di portata del torrente Bevera

Gli scenari di simulazione del torrente Bevera identificano in modo ben definito quelle che sono le aree soggette a potenziale inondazione per i diversi tempi di ritorno. I ponti che attraversano il corso d'acqua risultano con dei franchi idraulici maggiori di un metro per i diversi scenari e non sono state identificate sponde arginali prossime al sormonto nei singoli scenari.

Tuttavia, per valutare la sensibilità delle aree allagabili individuate, sono state imposte specifiche simulazioni per i diversi tempi di ritorno incrementando le rispettive portate del 10%.

I risultati ottenuti confermano le aree già individuate, mentre risultano globalmente incrementati i tiranti e velocità massime, seppur in modo non significativo.

## 6.7 Risultati

La definizione finale delle fasce di pericolosità è stata effettuata su analisi puntuale dei risultati degli scenari sopra indicati, valutati come di seguito indicato:

- Fascia A - Evento di piena con tempo di ritorno 50 anni

Per il fiume Roia, è stata utilizzata la mappatura delle aree inondabili derivante dall'evento con tempo di ritorno 50 anni per la quasi totalità del corso d'acqua ad eccezione del tratto terminale, dove si ritiene più idoneo utilizzare la mappatura derivante dall'ipotesi di parzializzazione della sezione ROI-10.

Per il torrente Bevera, è stata utilizzata la mappatura derivante dall'evento con tempo di ritorno 50 anni.

- Ambiti normativi BB e B0 - Evento di piena con tempo di ritorno 200 anni

Per il fiume Roia, la tracciatura delle fasce è stata effettuata sulla base dell'involuppo dei risultati derivanti dallo scenario con parzializzazione della sezione ROI-10 (Par. 6.4), lo scenario con parzializzazione della sezione ROI-100 (Par. 6.5). Indicazioni sono inoltre state desunte anche dallo scenario che considera una significativa crescita della vegetazione in alveo (Cap. 8).

Per il torrente Bevera, è stata utilizzata la mappatura derivante dall'evento con tempo di ritorno 200 anni.

- Fascia C - Evento di piena con tempo di ritorno 500 anni

Per il fiume Roia, è stata utilizzata la mappatura derivante dall'evento con tempo di ritorno 500 anni.

Per il torrente Bevera, è stata utilizzata la mappatura derivante dall'evento con tempo di ritorno 500 anni.

La definizione di dettaglio su tutto il dominio di studio dei tematismi degli allagamenti, della perimetrazione delle fasce di inondabilità e dei valori massimi delle variabili idrodinamiche in alveo, sono disponibili nelle mappe e nelle tabelle allegate alla presente relazione tecnica.

Di seguito, in Figura 6.8 e Figura 6.9, si forniscono alcune rappresentazioni di dettaglio delle proposte di fasce di inondabilità, a titolo di esempio, circoscritte ad alcune aree di particolare interesse.



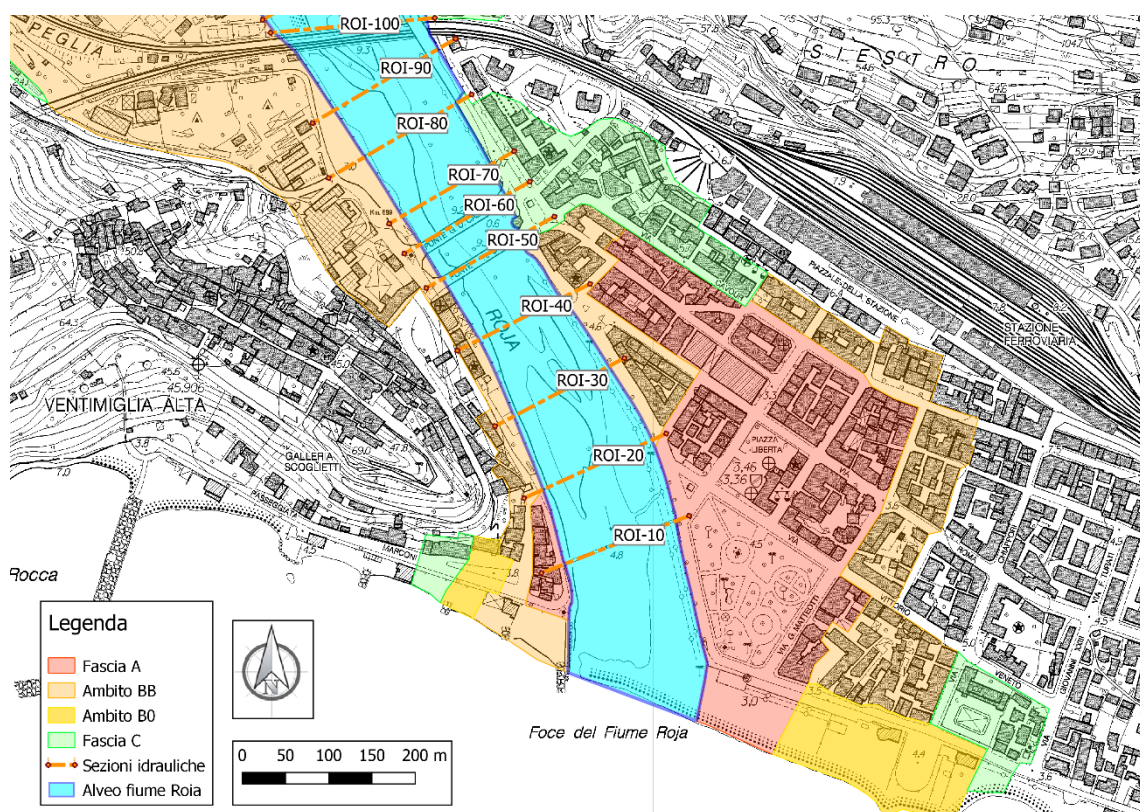


Figura 6.8 Proposte di fasce di inondabilità A-BB-B0-C del fiume Roia in prossimità di Ventimiglia, zona foce

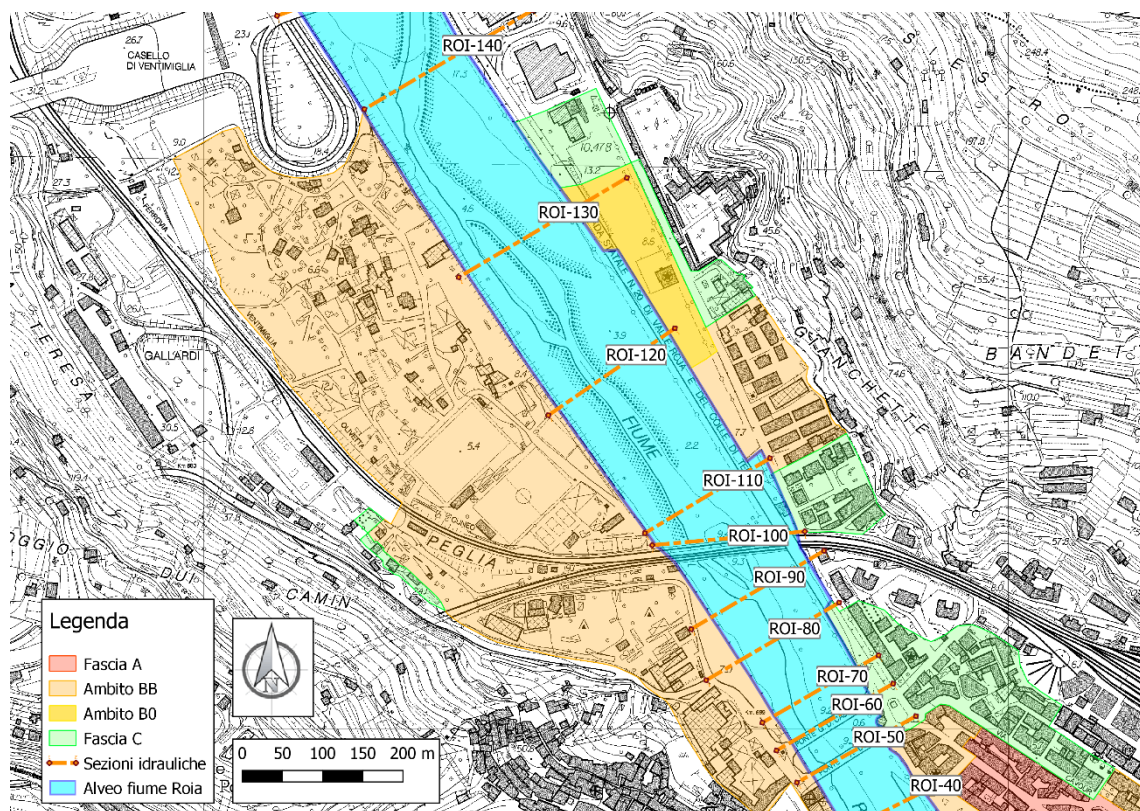


Figura 6.9 Proposte di fasce di inondabilità A-BB-B0-C del fiume Roia in prossimità di Ventimiglia, zona Peglia

## 7 Proposta di fascia di riassetto fluviale

### 7.1 Premessa

La fascia di riassetto fluviale è definita nella Norme di Attuazione del Piano di Bacino del Fiume Roia - Ambito n°1, in particolare al Capo II, Art. 12, "Individuazione e categorie di aree". Tale definizione è di seguito integralmente riportata.

*Fascia di riassetto fluviale (RF): è individuata nella "Carta della fascia di riassetto fluviale" o nella "Carta delle fasce di inondabilità" e comprende le aree esterne all'alveo attuale necessarie per l'adeguamento del corso d'acqua all'assetto definitivo previsto dal presente Piano. La sua delimitazione è effettuata sulla base delle strategie e delle scelte pianificatorie del Piano e dell'insieme degli interventi strutturali individuati nell'ambito dello stesso. Comprende in particolare le aree necessarie al ripristino della idonea sezione idraulica, tutte le forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena e le aree da destinare alle opere di sistemazione idraulica previste. Può comprendere, inoltre, aree ritenute di pertinenza fluviale e/o di elevato pregio naturalistico-ambientale limitrofe al corso d'acqua.*

Come specificato in premessa al Cap. 1, tra le attività previste nel presente incarico vi è anche la definizione della fascia di riassetto fluviale. Poiché come emerge dalla definizione stessa, la delimitazione di tale fascia è conseguenza anche di scelte pianificatorie del Piano, la proposta fornita in questo approfondimento idraulico sarà maggiormente improntata a valutazioni di natura idraulica, in modo da fornire successivamente, agli Enti preposti alle scelte pianificatorie, elementi utili da integrare con valutazioni più ampie e proprie della pianificazione di bacino.

### 7.2 Criteri per la definizione della fascia di riassetto fluviale

Come anticipato in premessa, il criterio adottato per la definizione della fascia di riassetto fluviale è improntato a una valutazione di parametri di natura prevalentemente idrodinamica, esulando pertanto da valutazioni di tipo urbanistico, pur basando l'ipotesi di fascia sulla realtà concreta del territorio in esame. Conseguentemente a ciò, la proposta di fascia è stata elaborata a partire dai risultati dell'analisi idraulica descritta nei precedenti capitoli.

In particolare, per la definizione della fascia di riassetto fluviale del torrente Bevera e del fiume Roia, sono stati considerati quali eventi di riferimento gli stessi utilizzati per la tracciatura delle fasce di pericolosità idraulica. A partire dagli allagamenti di tali eventi si è definito un criterio di selezione degli stessi in modo da delimitare la componente preponderante in termini di deflusso superficiale, da comprendere all'interno della fascia, considerando accettabile che allagamenti residuali con valore marginale di portata defluente non vengano inseriti: in questo modo la fascia di riassetto fluviale, oltre naturalmente all'alveo attivo, delimita tutte le aree in cui defluisce la piena duecentennale a meno di contributi marginali.

Operativamente il criterio sopradescritto si può esplicitare valutando la grandezza idrodinamica della densità di flusso, che rappresenta sostanzialmente la portata defluente nel dominio bidimensionale per unità di cella, per la quale si è preso quale riferimento il valore di soglia di  $1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ; tale valore, rapportato alla dimensione di cella di 1m definita nel modello, equivale a una portata defluente di  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . In analogia alle classi di tiranti e velocità poste alla base della classificazione degli ambiti normativi di fascia B, tale valore corrisponde a una combinazione di tiranti mediamente superiori al metro e velocità mediamente dell'ordine di 1 m/s.

A seguito della rappresentazione di tale tematismo, filtrato sul valore di soglia definito, si è proceduto con la perimetrazione della fascia di riassetto fluviale tenendo in considerazione sia gli elementi urbanistici presenti nel territorio, le caratteristiche fisiche del corso d'acqua e le aree ritenute di pertinenza fluviale.



## 7.3 Risultati

La definizione di dettaglio su tutto il dominio di studio della fascia di riassetto fluviale è disponibile nelle mappe allegate. Di seguito si forniscono alcune rappresentazioni di dettaglio, a titolo di esempio, circoscritte ad alcune aree di interesse, con la fascia sovrapposta al tematismo della densità di flusso. In particolare, in Figura 7.1 si riporta la fascia di riassetto fluviale del torrente Bevera in prossimità di località Calvo, mentre in Figura 7.2 la stessa delineata per il fiume Roia presso località Trucco.

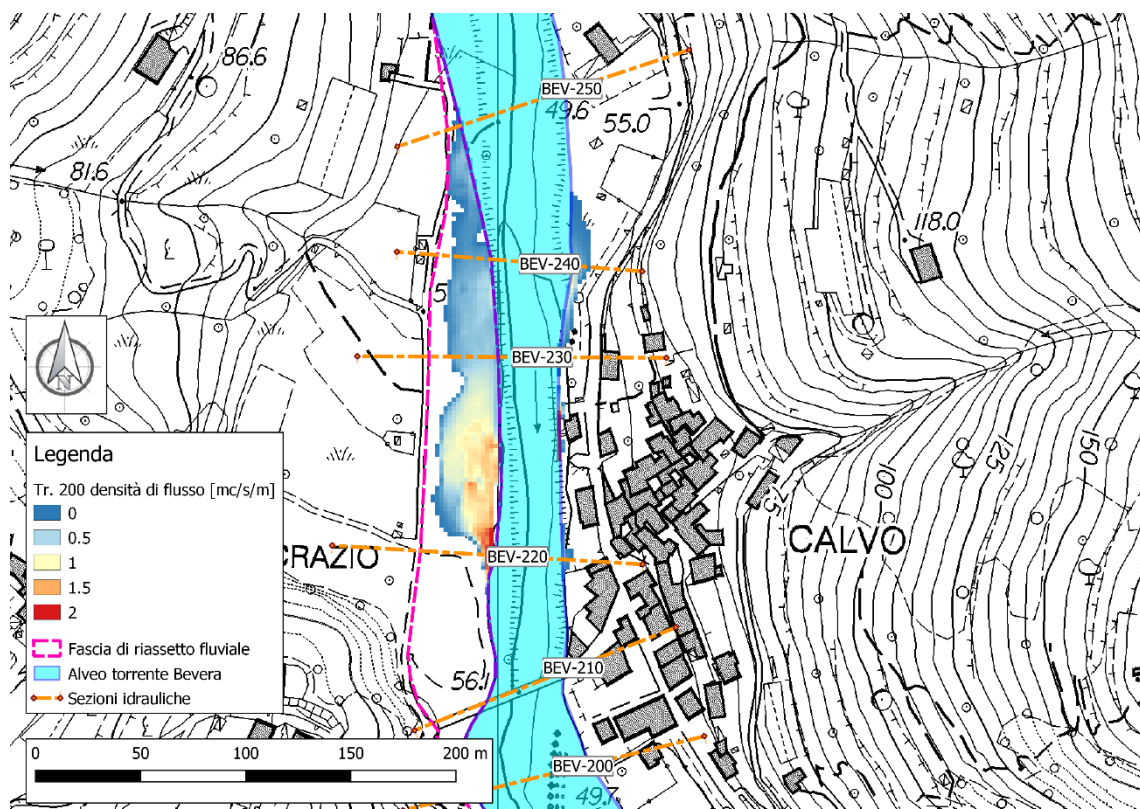


Figura 7.1 Tematismo della proposta di fascia di riassetto fluviale e della densità di flusso dell'evento duecentennale nel tratto del torrente Bevera in prossimità di località Calvo

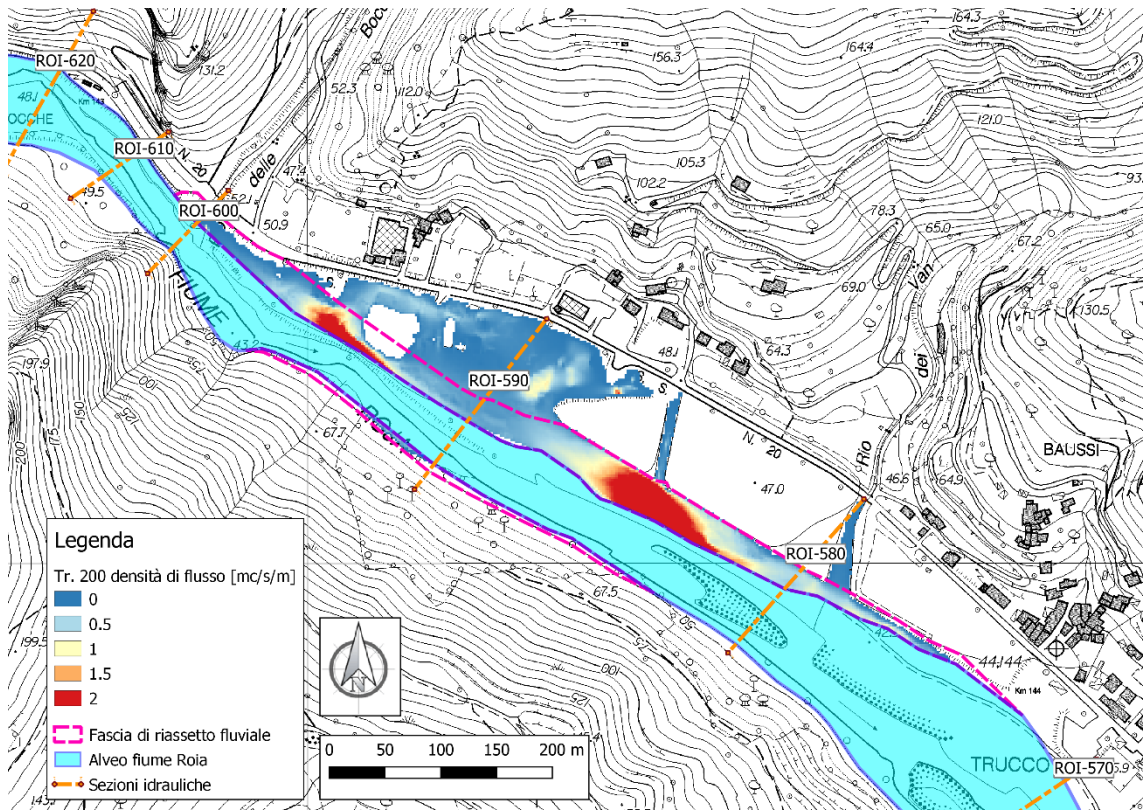


Figura 7.2 Tematismo della proposta di fascia di riassetto fluviale e della densità di flusso dell'evento duecentennale nel tratto del fiume Roia in prossimità di località Trucco

## 8 Analisi dell'impatto della potenziale crescita di vegetazione in alveo

Lo scenario proposto, si prefigge l'obiettivo di valutare l'impatto sulle aree allagabili di un potenziale aumento della vegetazione nell'alveo del fiume Roia in caso di totale assenza di manutenzione e pulizia periodica dello stesso.

L'analisi è stata eseguita con riferimento all'evento di piena duecentennale.

È bene ricordare che, come indicato nel Par. 4.2.3, i coefficienti di scabrezza utilizzati nel modello già tengono in considerazione delle caratteristiche dell'alveo e della presenza e tipologia di vegetazione in alveo in un'ottica cautelativa. Tuttavia, in questa sede si vuole simulare la presenza di un più marcato sviluppo della vegetazione, nell'ipotesi che ciò possa concretizzarsi negli anni a venire. Il tratto del fiume Roia su cui si concentra l'analisi è quello compreso tra le sezioni ROI-580 fino alla sezione ROI-100. In questo tratto l'alveo presenta porzioni di terreno libero su cui è presumibile ipotizzare un eventuale infittimento della vegetazione.

L'analisi è stata svolta sulla base delle linee guida riportate nel seguente documento dell'USGS:

- George J. Arcement, Verne R. Schneider - Guide for Selecting Manning's Roughness Coefficients for Natural Channels and Flood Plains – U.S. Geological Survey, Paper 2339, 1989



Ad integrazione di quanto già indicato nel sopracitato documento sono state consultati le seguenti pubblicazioni:

- Petryk S., Bosmajian G. – Analysis of flow through vegetation, 1975
- Kouven N., Unny T.E. – Flow retardance in vegetated channels. J.of Irr. And Drain. Div. ASCE IR2, June 1969
- Kouven N. – Field estimation of the biomedical properties of grass. J. Of Hydrol.vol 26 n. 5, 1988

L'insieme dei documenti sopra indicati ha permesso la definizione dei coefficienti di scabrezza da utilizzare per simulare la potenziale presenza di vegetazione; se ne riporta il risultato in Tabella 8.1.

Tabella 8.1 Coefficienti di scabrezza assegnati in funzione della classe di uso del suolo

Tipologia	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler $K_s$ [ $m^{1/3} s^{-1}$ ]
prati permanenti e pascoli	15.00
vigneti, frutteti, pioppeti	9.00
zone agricole eterogenee	9.00
orti, serre, vivai	8.00
zone boscate	7.00
aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	9.00
formazioni arbustive dense	5.00
zone aperte con vegetazione rada o assente	15.00
zone a vegetazione erbacea non oggetto di pratiche colturali	15.00
reti stradali e ferroviarie e spazi accessori	15.00
aree verdi urbane	9.00

Per l'alveo inciso si è fatto riferimento alla seguente formula riportata nella Direttiva dell'Autorità di Bacino del Fiume Po "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" (Deliberazione 11 maggio 1999 n.2/99):

$$K_s = 26/d_{90}^{1/6} \quad (8-1)$$

in cui:

$K_s$  = coefficiente di scabrezza di Strickler [ $m^{1/3}/s$ ];

$d_{90}$  = diametro caratteristico del materiale di fondo alveo cui corrisponde un passante del 90% [m].

Operativamente è stata adottata la seguente procedura:

- in primo luogo, a partire dalle formulazioni indicate, sono state selezionate le sezioni del corso d'acqua più rappresentative dell'intero tratto, per un totale di 6 sezioni;
- per ogni sezione è stata valutata la potenziale estensione della vegetazione, nonché la tipologia grazie alle informazioni raccolte in sede di sopralluogo e con l'ausilio delle ortofoto;

- per ogni sezione è stata definita la porzione di alveo di magra per il quale è stata adottata la formulazione riporta nell'equazione (8-1), stimando il  $d_{90}$  mediamente pari a 0.07 m (ghiaia fine), da cui deriva il coefficiente di scabrezza pari a circa  $40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ;
- per le singole sezioni è stato valutato il coefficiente di scabrezza globale, calcolato come media pesata sulla distribuzione di vegetazione lungo la sezione, da cui se ne è desunto il valor medio dell'intero tratto, come riportato in tabella Tabella 8.2;
- Il coefficiente medio del tratto, pari a circa  $24 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ , è stato utilizzato lungo tutto la tratta in oggetto del modello monodimensionale.

Tabella 8.2 Coefficienti di scabrezza medi nell'ipotesi di crescita della vegetazione in alveo per alcune sezioni rappresentative del fiume Roia

Sezione	Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler $K_s$ [ $\text{m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ]
ROI-110	21.93
ROI-120	24.32
ROI-140	22.87
ROI-240	27.50
ROI-270	23.81
ROI-380	24.89
<b>MEDIA</b>	<b>24.22</b>

Nel complesso, l'impatto della potenziale crescita di vegetazione in alveo risulta quello di determinare localmente un innalzamento dei tiranti e una maggiore estensione, seppur limitata, laddove era già stata individuata criticità con lo scenario attuale.

Tuttavia, a livello puntuale sono state individuate due aree in cui l'impatto risulta più sostanziale: in prossimità della sezione ROI-550 e della sezione ROI-100.

Nello scenario analizzato, in prossimità della sezione ROI-550 si determina un incremento dell'area allagabile principalmente in sponda destra dove l'area interessata è caratterizzata principalmente dalla presenza di vegetazione arbustiva e campi coltivati adiacenti a un'abitazione ad uso residenziale collocata in Via Comunale di Varase. Si riporta in Figura 8.1 il confronto tra l'estensione dell'area inondabile nello scenario attuale e nell'ipotesi di crescita vegetazione.

Più a valle, in prossimità della sezione ROI-100, l'ingente presenza di vegetazione in alveo determina l'esondazione su entrambe le sponde nel tratto a monte dell'attraversamento ferroviario. L'area è quella limitrofa alle sezioni ROI-120 e ROI-110 ed interessa in sponda destra l'area sportiva e, in sponda sinistra, principalmente il piazzale tra Via Tenda ed il letto del fiume. L'impatto è visibile in Figura 8.2 che mostra il confronto tra lo scenario attuale e quello trattato nel presente paragrafo.

In questo tratto l'influenza di una potenziale crescita significativa della vegetazione si tradurrebbe in un incremento dell'area esondabile, con coinvolgimento di strutture sportive e abitazione residenziali. Tuttavia, l'impatto risulta significativamente inferiore rispetto a quanto determinabile dall'eventuale ostruzione dei ponti ferroviari causati da trasporto di materiale flottante o solido al fondo, come indicato nel Par. 6.5, confermando la maggiore criticità indotte dalle strutture antropiche rispetto allo sviluppo vegetativo in alveo.

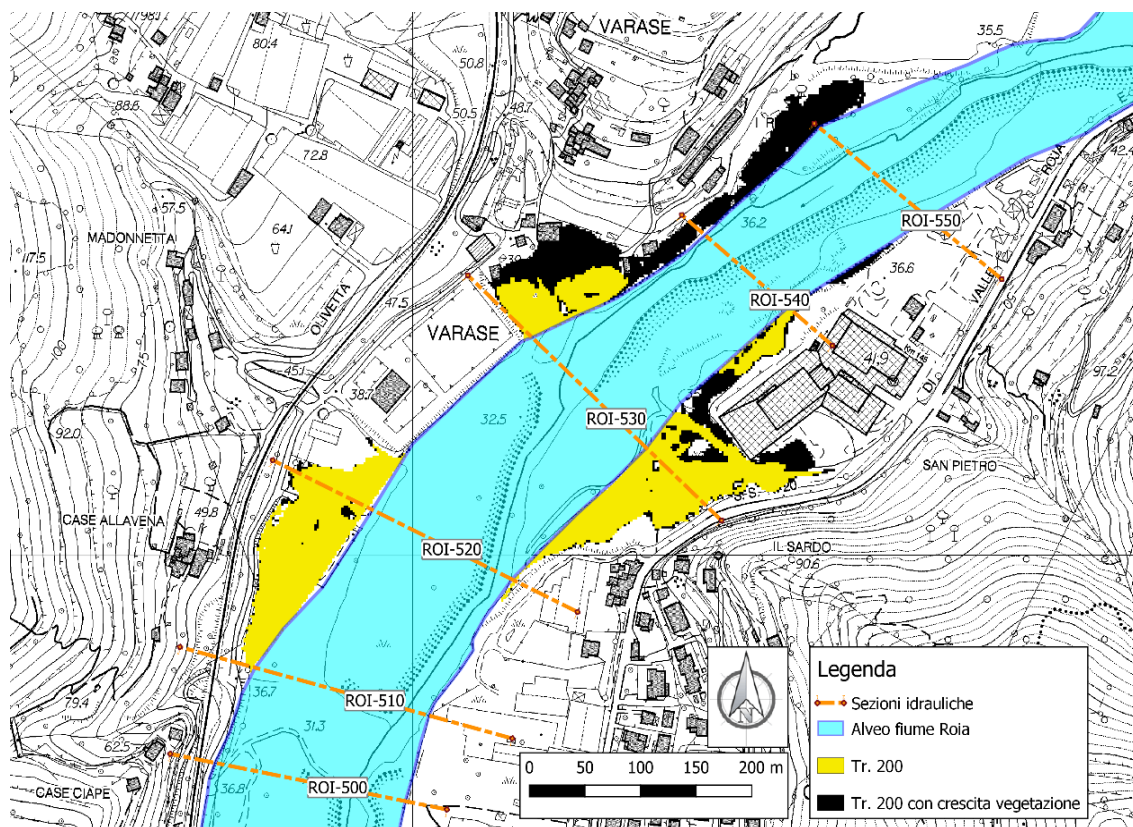


Figura 8.1 Fiume Roia, comparazione dell'estensione degli allagamenti degli eventi con tempo di ritorno 200 anni in prossimità della sezione ROI-550 nell'ipotesi di crescita intensa di vegetazione e nella configurazione attuale, rispettivamente in colore nero e giallo

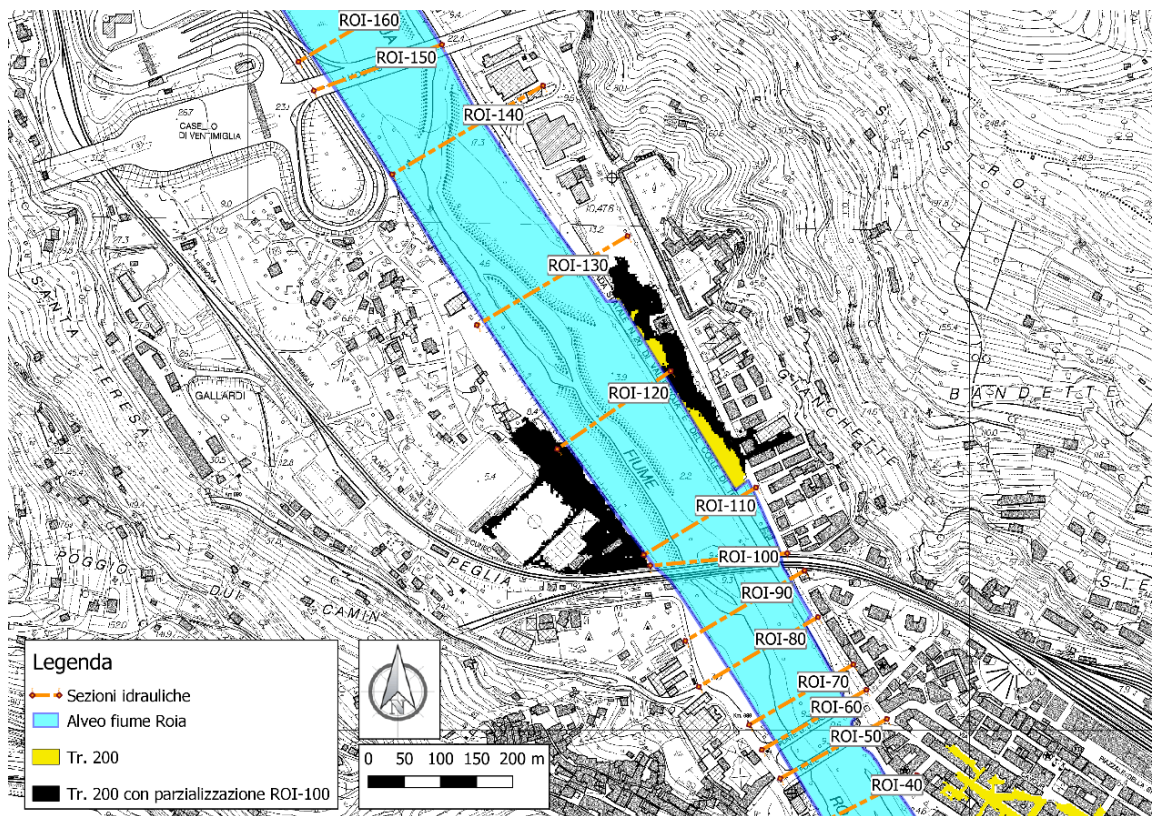


Figura 8.2 Fiume Roia, comparazione dell'estensione degli allagamenti degli eventi con tempo di ritorno 200 anni in prossimità della sezione ROI-100 nell'ipotesi di crescita intensa di vegetazione e nella configurazione attuale, rispettivamente in colore nero e giallo

In generale, **la presenza di maggiore vegetazione in alveo non rappresenta di per sé un fattore di maggiore criticità**. Va altresì indicato che in quei punti in cui le opere di contenimento della piena risultano già essere vulnerabili, la mancanza di una pulizia periodica dell'alveo può mettere in maggiore evidenza la citata vulnerabilità. Analisi idrauliche di dettaglio, come quella effettuata nel presente studio, possono fornire indicazioni molto utili per focalizzare gli interventi in modo mirato su specifici tratti del corso d'acqua, riuscendo ad ottenere una maggiore efficienza degli interventi e una relativa riduzione dei costi.

In tal senso, le risultanze del presente studio indicano come prioritario per la pulizia dell'alveo il tratto compreso tra le sezioni ROI-120 e ROI-90 e quello compreso tra le sezioni ROI-550 e ROI-530.

## 9 Individuazione del limite di edificabilità nelle aree classificate B0

L'attività prevede, in coerenza con i criteri ex DGR 91/2013, l'individuazione del limite massimo di edificabilità complessivo delle aree inondabili eventualmente classificate come ambiti "B0" ai sensi degli stessi criteri, in termini di superficie e volume sottraibile al deflusso della piena, tale da non provocare aumenti di pericolosità e rischio nelle zone limitrofe, in particolare a discapito dell'edificato esistente.

Per l'individuazione delle aree di nuovo insediamento è stato consultato il vigente Piano Urbanistico Comunale messo a disposizione dalle autorità locali. In particolare, si è fatto riferimento alle zone appartenenti al Distretto di trasformazione (DT), ovvero le zone omogenee per le quali sono previste le trasformazioni più consistenti e un deciso incremento del peso



insediativo. Esse sono di fatto le aree individuate dal PUC per lo sviluppo e il riscatto della città e prevedono trasformazioni rivolte a consentire principalmente insediamenti residenziali, ricettivi e misti. Si riporta in Figura 9.1 un estratto della cartografia del PUC in prossimità del tratto terminale del fiume Roia con la finalità di localizzare i Distretti di trasformazione, indicate di colore giallo.

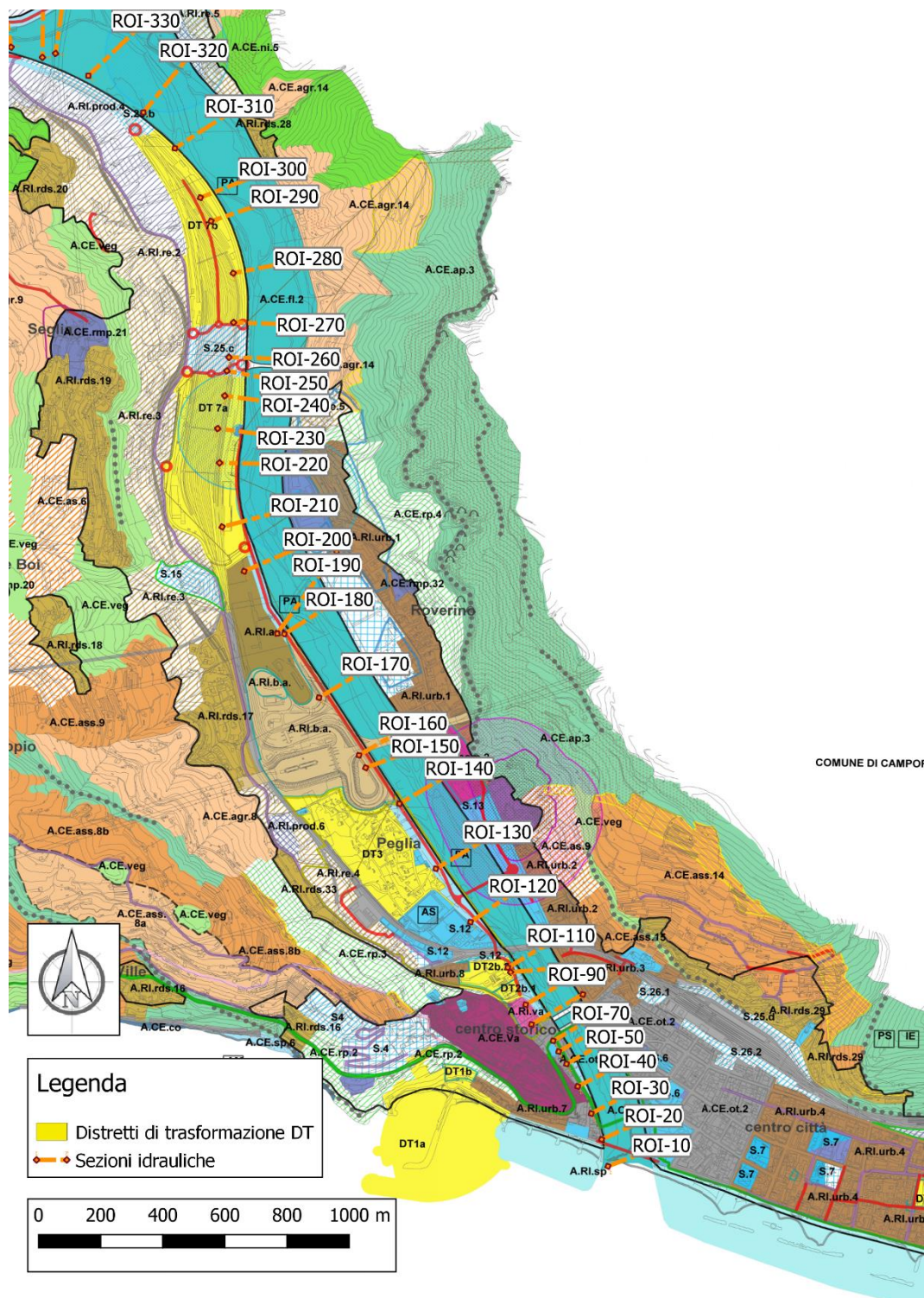


Figura 9.1 Estratto cartografico dal vigente P.U.C. del Comune di Ventimiglia, per l'individuazione dei Distretti di trasformazione DT (aree in giallo) in prossimità dell'area oggetto di studio. In linea arancione la traccia delle sezioni idrauliche utile in riferimento alle altre immagini del presente studio



Tra le aree indicate nel PUC come appartenenti a Distretti di trasformazione, allo stesso tempo ricadenti entro le proposte fasce di inondabilità, vi sono:

- DT 2b.1 – ZONA LAGO AREA EX MACELLI
- DT 2b.2 – ZONA LAGO AREA CAMPING
- DT 3 – PEGLIA

Tuttavia, come visibile in Figura 9.2, le aree sopra elencate ricadono all'interno dell'Ambito BB che, come indicato nel Cap. 6, sono state definite in accordo all'ALLEGATO ALLA D.G.R. 91 DEL 01/02/2013 - Criteri per la individuazione di aree a minor pericolosità relativa e di ambiti normativi nella fascia B dei piani di bacino stralcio per l'assetto idrogeologico". Date le risultanze, non sussistono le condizioni per proseguire con l'analisi.

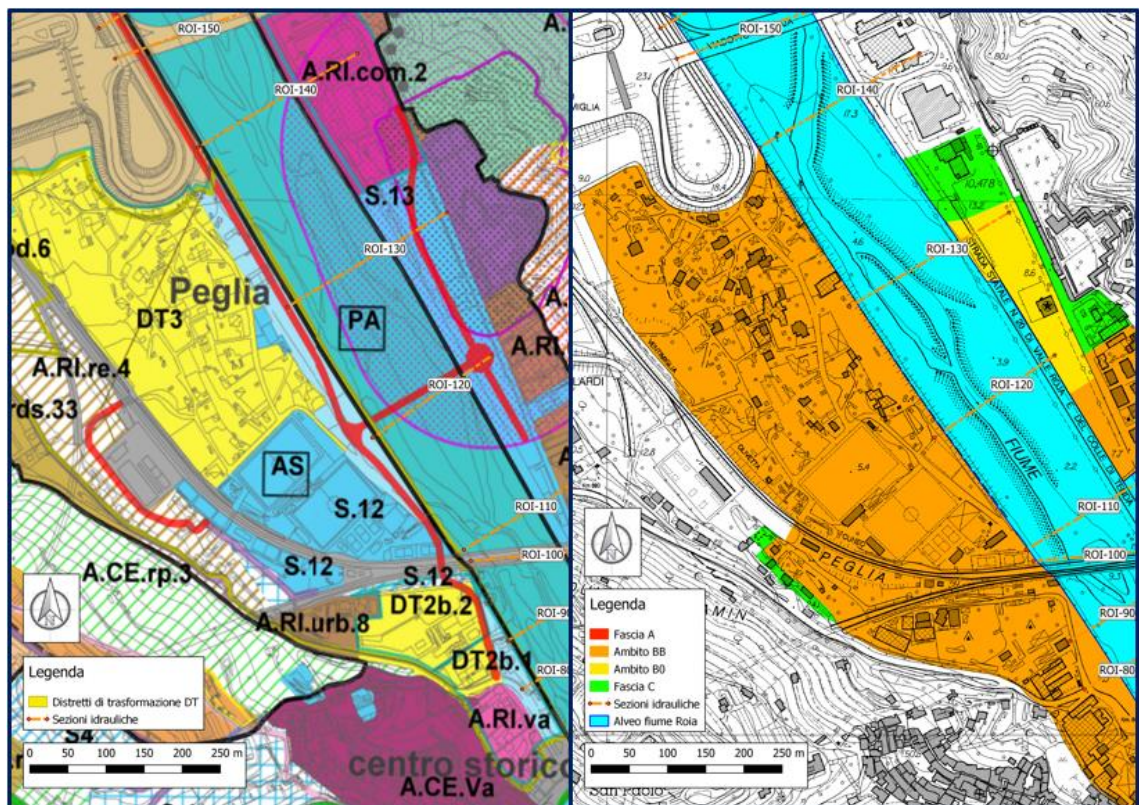


Figura 9.2 A sinistra, identificazione delle aree definite come Distretti di trasformazione nel vigente P.U.C. (in giallo) in prossimità del centro di Ventimiglia; a destra, le fasce di inondabilità proposte per la stessa area

## 10 Individuazione scenari di intervento

Le analisi effettuate secondo le modalità riportata nei paragrafi precedenti hanno consentito l'individuazione di massima di adeguati interventi di sistemazione idraulica ai fini della mitigazione delle condizioni di rischio, in considerazione anche della salvaguardia dell'assetto ecologico del corso d'acqua e delle potenzialità di fruizione turistico-naturalistiche dello stesso.

Le risultanze dello studio idraulico sono state esaminate anche alla luce di quanto indicato nel vigente Piano di Bacino dell'Ambito n° 1 "ROIA" - Piano degli interventi per la mitigazione del rischio. Il documento, tra le varie cose, riporta l'elenco degli interventi idraulici prioritari per il fiume Roia ed il torrente Bevera, nonché di alcuni affluenti secondari, indicati sulla base di quanto emerso nello studio idraulico dello stesso Piano di Bacino.

Per ciò che concerne il torrente Bevera, come già ribadito dall'analisi dei risultati, Par. 5.1.1, con il presente studio si ha una riduzione dei tiranti in alveo e delle aree allagabili per i diversi tempi di ritorno. Ad ogni modo, si confermano gli interventi già indicati nell'attuale Piano di Bacino, interventi da ID 11 fino a ID 16 compresi riguardanti per lo più opere di difesa spondale, da definirsi alla luce delle grandezze idrauliche emerse nel presente studio.

Sul fiume Roia si confermano quelli che sono gli interventi attualmente previsti dal Piano di Bacino riguardanti l'area oggetto di studio, interventi da ID 1 fino a ID 15 compresi, anche in questo caso da valutarsi in base alle risultanze del presente studio. Gli interventi previsti riguardano sia la pulizia dell'alveo (es. ID 1), risagomatura dell'alveo (es. ID2, ID3) e opere di difesa spondale (es. ID 6, 7, 8).

Tuttavia, le risultanze dal presente studio consentono di indicare quale prioritario l'intervento di rifacimento della Passerella Squarciaricchi, per cui la priorità vigente risulta secondaria, (ID 2bis). Di fatto, tutti gli scenari esaminati hanno messo in luce la criticità idraulica riconducibili al brusco restringimento di sezione determinato dalla presenza dell'opera, di cui si riporta uno scatto fotografico in Figura 10.1 A monte della passerella i tiranti superano le arginature, in tutti gli scenari selezionati per la definizione delle fasce di pericolosità idraulica. Come conseguenza, l'esonazione va ad interessare il centro urbano di Ventimiglia, con diversa pericolosità a seconda dell'evento considerato.

Tuttavia, nell'ipotesi preliminare di completa rimozione della passerella i tiranti risulterebbero contenuti all'interno delle sponde del corso d'acqua per la portata con tempo di ritorno 200 anni. Si riporta in Tabella 10.1 il confronto dei tiranti massimi del tratto terminale del fiume Roia per l'evento duecentennale con e senza passerella pedonale. Come mostrano i risultati, i tiranti risulterebbero contenuti in alveo, sebbene in alcuni punti i franchi di sicurezza rispetto alle arginature sarebbero inferiori al metro.

Alla luce di queste considerazioni di massima si indica quale **intervento prioritario per la riduzione della pericolosità idraulica del centro di Ventimiglia, il rifacimento della Passerella Squarciaricchi** per permettere il deflusso dell'onda di piena dell'evento duecentennale con opportuno franco di sicurezza. Inoltre, per garantire la sicurezza del centro urbano di Ventimiglia si ritiene altresì importante la sostituzione delle attuali ringhiere in sponda sinistra con la **costruzione di opportuni muri di contenimento** nel tratto terminale del fiume Roia su entrambe le sponde, indicativamente nel tratto che va dalla sezione ROI-30 alla sezione ROI-10, per una lunghezza pari a circa 200 metri ciascuno.

Si riassume in Tabella 10.2 la scheda sintetica dell'intervento proposto.





Figura 10.1 Vista da monte verso valle della Passerella pedonale Squarciafichi

Tabella 10.1 Fiume Roia, livelli massimi dei tiranti idrici per lo scenario con tempo di ritorno 200 anni in prossimità tratto terminale del fiume Roia nello scenario attuale e con rimozione della Passerella pedonale Squarciafichi

SEZ. [-]	Sponda sinistra [m s.l.m.]	Sponda destra [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 (no passerella) [m s.l.m.]	Δ livello max (progetto - stato attuale)
ROI-90	9.20	7.80	7.34	7.34	0.00
ROI-80	8.00	7.52	7.20	7.20	0.00
ROI-80.1	7.98	7.50	7.09	7.09	0.00
ROI-70.1	7.75	7.76	7.08	7.08	0.00
ROI-70	9.70	7.76	7.05	7.05	0.00
ROI-60_m	8.92	8.85	6.85	6.86	0.00
ROI-60_v	8.82	8.75	6.77	6.77	0.00
ROI-50_m	9.05	9.11	6.70	6.71	0.00
ROI-50_v	8.95	9.01	5.05	4.88	-0.17
ROI-40.1	7.38	5.41	4.96	4.71	-0.25
ROI-40	5.76	4.70	4.74	4.41	-0.33
ROI-30.2	5.37	4.70	4.59	4.13	-0.46
ROI-30.1	5.32	6.60	4.60	4.12	-0.48
ROI-30	4.97	5.84	4.58	3.99	-0.59
ROI-20	4.16	4.24	4.34	3.54	-0.80
ROI-10.1	3.34	3.61	4.06	3.06	-1.00
ROI-10_m	4.57	4.57	4.06	-	-
ROI-10_v	4.47	4.47	2.95	-	-



SEZ. [-]	Sponda sinistra [m s.l.m.]	Sponda destra [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 [m s.l.m.]	W.L. Tr 200 (no passerella) [m s.l.m.]	Δ livello max (progetto - stato attuale)
ROI-10.2	3.23	2.73	2.76	2.77	0.01
ROI-BC.1	3.06	2.68	2.46	2.46	0.01
ROI-BC	3.14	2.37	0.50	0.50	0.00

Tabella 10.2 Scheda sintetica dell'intervento indicato per la riduzione del rischio idraulico nei pressi della città di Ventimiglia

INTERVENTO ID 2ter	ADEGUAMENTO IDRAULICO PASSERELLA SQUARCIAFICHI CON COSTRUZIONE DI MURI DI CONTENIMENTO DEL TRATTO TERMINALE DEL CORSO D'ACQUA
Priorità: primario	
Inquadramento geografico Comune Corso d'acqua Località	Ventimiglia Roia Foce
Criticità	Insufficienza della sezione idraulica al deflusso della piena duecentennale ed inadeguatezza (franco insufficiente) per la piena cinquantennale
Descrizione intervento	Demolizione passerella esistente, con successiva ricostruzione a livello superiore dell'intradosso della struttura. Costruzione di muri di contenimento su entrambe le sponde per il tratto di circa 200 metri a monte della passerella
Tempi di esecuzione [giorni]	400
Stima economica [€]	1.100.000
Benefici	Riduzione del rigurgito di piena e relativa mitigazione della pericolosità idraulica con sufficiente franco idraulico per l'evento di piena duecentennale
Soggetto attuatore	Comune di Ventimiglia
Stato di avanzamento	Non eseguito

Date le criticità idrauliche individuate nel tratto terminale del fiume Roia, si è voluto effettuare un ulteriore approfondimento per verificare l'incidenza del terrapieno posto in prossimità della foce sulla definizione delle aree allagabili determinate dalla portata duecentennale. Il terrapieno, come visibile da ortofoto, immagini satellitari e rilievo Lidar, è collocato in prossimità della sponda sinistra del corso d'acqua, Figura 10.2.

L'analisi svolta prevede la totale rimozione di questo riempimento, ipotizzando un letto del fiume uniforme. Sono state quindi modificate le sezioni idrauliche del tratto di foce, in particolare ROI-BC e ROI-BC.1, affinché il profilo del letto risultasse uniforme e con tali geometrie è stato simulato l'evento con tempo di ritorno 200 anni.

L'impatto della rimozione del riempimento risulta nel complesso ininfluente sulla definizione delle aree esondabili che risultano pressoché inalterate. Di fatto, l'esondazione che contraddistingue questa tratta è determinata dal restringimento di sezione causato dalla Passerella pedonale Squarciaricchi (ROI-10) ed il conseguente sormonto arginale su entrambe le sponde a monte di essa: l'attraversamento condiziona il tratto a monte dove si instaura una corrente lenta che non risente della variazione apportate alle geometrie delle sezioni di valle. **Non si ritiene pertanto tale intervento funzionale alla mitigazione della pericolosità idraulica.**

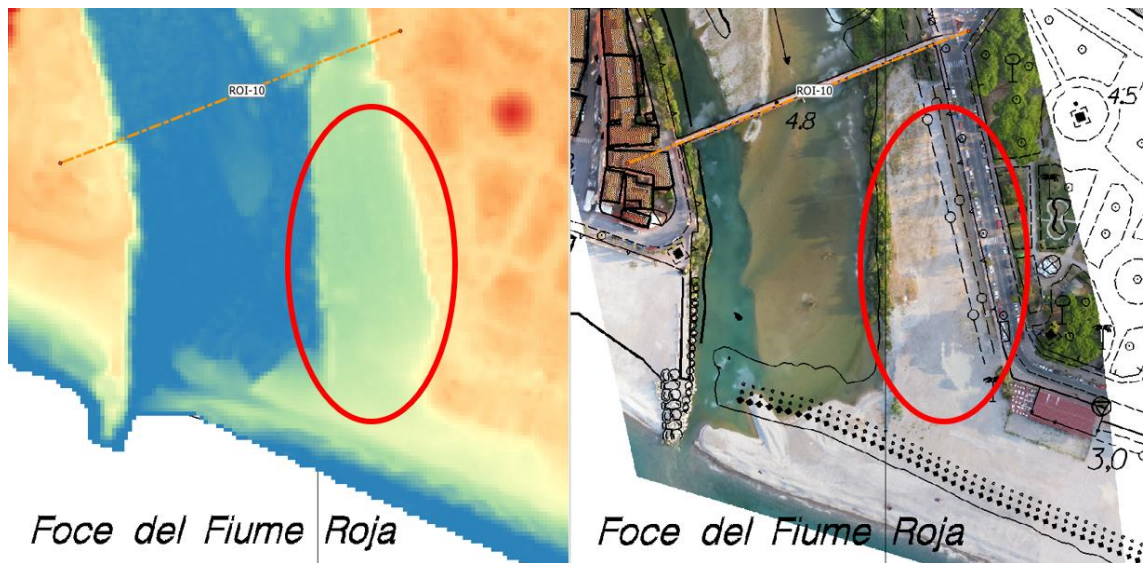


Figura 10.2 Fiume Roia, tratto terminale in prossimità della foce. A sinistra il DTM derivante da volo Lidar, a destra ortofoto della stessa area. In rosso è cerchiata l'area del riempimento nel letto del fiume

## 11 Conclusioni

Lo studio idraulico condotto nel presente elaborato si inserisce all'interno del progetto europeo CONCERT-EAUX, precisamente il sotto-progetto "WP4\_3 – Applicazioni degli studi alla pianificazione ed alla governance territoriale", che prevede l'individuazione delle zonazioni di pericolosità da inondazione nella piana alluvionale di fondovalle del fiume Roia, prevalentemente ricadente nel comune di Ventimiglia (IM).

**Lo studio ha riguardato il fiume Roia, nel tratto che va da località Airole fino a foce, ed il torrente Bevera, nel tratto compreso tra località Torri e la sua confluenza nel fiume Roia.** I corsi d'acqua sono stati oggetto di un'analisi idraulica di dettaglio di cui si sintetizzano di seguito i risultati perseguiti.

L'analisi è stata effettuata con il supporto di un modello idraulico di dettaglio **con codice di calcolo integrato MIKE FLOOD**, che permette di accoppiare dinamicamente la rappresentazione dell'alveo con modello monodimensionale e delle aree inondabili con modello bidimensionale.

Il modello idraulico ha recepito i rilievi topografici effettuati da parte di Gter s.r.l per la rappresentazione dell'alveo inciso, opportunamente integrati come definito nella consegna degli elaborati "22802788-01-00200.pdf" e "22802788-01-00300.xlsx".

È stato altresì recepito lo studio idrologico effettuato dall'Università di Genova - Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica e Ambientale (DICCA), che ha fornito i valori delle portate di massima piena annuali e dei relativi idrogrammi per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni per le principali sezioni significative del bacino.

In prima battuta, sono stati analizzati gli eventi con tempo di ritorno 50, 200 e 500 anni al fine di valutare le caratteristiche idrodinamiche della corrente in alveo e dell'area allagabile con particolare riguardo ai tiranti idrici e velocità di scorrimento.

Sulla valutazione dei risultati ottenuti, sono stati definiti gli scenari di sensibilità opportuni per approfondire l'analisi. In particolare, sono stati analizzate le seguenti condizione:

- Scenario di parzializzazione della sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 50 anni;
- Scenario di parzializzazione della sezione ROI-10 per evento con tempo di ritorno 200 anni;
- Scenario di parzializzazione della sezione ROI-100 per evento con tempo di ritorno 200 anni;
- Scenari con incremento di portata nel torrente Bevera.

**Sulla base delle risultanze dei diversi scenari, è stata definita una proposta di nuova perimetrazione delle fasce di inondabilità**, redatta nell'ottica dell'aggiornamento di quelle attualmente vigenti.

Per il torrente **Bevera**, le fasce sono state definite a partire dagli eventi con i diversi tempi di ritorno. I risultati **mostrano un'estensione delle fasce inferiori rispetto a quelle attualmente definite** dovuta principalmente a portate di minor entità definite dal nuovo studio idrologico e dalla variazione delle geometrie dell'alveo, principalmente nel tratto terminale.

Per il **fiume Roia**, le maggiori criticità idrauliche sono state individuate in prossimità degli attraversamenti del tratto terminale, in particolare i ponti ferroviari presso la sezione ROI-100 e la Passerella pedonale Squarciafichi. Per la definizione delle fasce è stata dunque indispensabile il supporto delle risultanze degli scenari di sensitività; in particolare:

- la **fascia A** è stata definita a partire da quanto emerso dall'analisi di parzializzazione della sezione ROI-10, risultante la più critica per questo evento;
- gli ambiti **BB e B0** sono stati definiti a partire dall'involuppo dei risultati dello scenario con parzializzazione della sezione ROI-10 (Par. 6.4), lo scenario con parzializzazione della sezione ROI-100 (Par. 6.5) e, per il tratto a monte della confluenza con il Bevera, le indicazioni emerse dall'approfondimento sulla potenziale crescita della vegetazione in alveo (Cap. 8);
- la **fascia C** è stata definita a partire dall'evento con tempo di ritorno di 500 anni.

L'approfondimento idraulico ha permesso la **definizione di una proposta di perimetrazione della fascia di riassetto fluviale**, per la quale è stato definito un criterio metodologico prevalentemente basato sui risultati delle simulazioni idrauliche, **legando la definizione della fascia di riassetto fluviale alla variabile idrodinamica della densità di flusso degli allagamenti dell'evento duecentennale**. Il criterio utilizzato è di natura prevalentemente idrodinamica, esulando pertanto da valutazioni di tipo urbanistico, pur basando l'ipotesi di fascia sulla realtà concreta del territorio in esame.

Nel presente documento è stato condotto uno specifico studio per analizzare l'impatto della prevista crescita vegetativa in alveo in assenza di pulizia dello stesso. I risultati indicano che, in generale, **la presenza di maggiore vegetazione in alveo non rappresenta di per sé un fattore di maggiore criticità**. Tuttavia, in quei punti in cui le opere di contenimento della piena risultano già essere vulnerabili, la mancanza di una pulizia periodica dell'alveo può mettere in maggiore evidenza la citata vulnerabilità. Analisi idrauliche di dettaglio, come quella effettuata nel presente studio, possono fornire indicazioni molto utili per focalizzare gli interventi in modo mirato su specifici tratti del corso d'acqua, riuscendo ad ottenere una maggiore efficienza degli interventi e una relativa riduzione dei costi. In tal senso, le risultanze del presente studio indicano come prioritario per la pulizia dell'alveo il tratto compreso tra le sezioni ROI-120 e ROI-90 e quello compreso tra le sezioni ROI-550 e ROI-530.

L'insieme delle analisi effettuate ha permesso l'individuazione di uno **scenario di intervento ritenuto di prioritaria importanza** per la messa in sicurezza del centro urbano di Ventimiglia, consistente **nel rifacimento della Passerella pedonale Squarciafichi**, localizzata in prossimità della foce, nonché della **sistemazione delle sponde arginali** in prossimità di essa. Tale intervento risulterebbe sufficiente a permettere il deflusso della portata duecentennale evitando l'esondazione nel tratto terminale del corso d'acqua. È stato altresì valutato l'impatto sull'evento di piena duecentennale dell'eventuale rimozione del riempimento presente in prossimità della

foce del fiume Roia. Quest'intervento è risultato influente sulla mitigazione della pericolosità idraulica.

Infine, risulta opportuno citare che tra gli elaborati di consegna del presente incarico, oltre alla Relazione Tecnica e relativi Allegati, vi sono i risultati delle simulazioni in forma di differenti tematismi e gli stessi modelli idraulici implementati, che resteranno pertanto a disposizione dei tecnici della Committenza per ogni successiva attività inerente ai corsi d'acqua oggetto di studio.



ALLEGATI



ALLEGATO A  
Tabelle delle grandezze  
idrodinamiche in alveo





## A.1 Scenari a diverso tempo di ritorno

Di seguito si riportano le tabelle relative ai valori idrodinamici in alveo per tutti i tratti considerati. Le tabelle riportano le seguenti informazioni:

- Progressiva: valore di posizionamento della sezione trasversale, come distanza progressiva in [m] a partire dall'inizio del tratto;
- ID sezione: identificativo della sezione trasversale;
- Quota fondo: minimo livello altimetrico [m s.l.m.] delle quote d'alveo;
- Y: tirante idrico in [m];
- PL: livello del pelo libero in [m s.l.m.];
- V: velocità della corrente in [m/s];
- Fr: numero di Froude [-];
- H: valore del carico totale in [m s.l.m.].

### A.1.1 Tempo di ritorno 50 anni

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
0.00	ROI-1050.1	80.31	7.90	88.21	5.65	0.91	89.83
212.15	ROI-1050_m	80.26	6.78	87.04	7.13	1.16	89.63
230.15	ROI-1050_v	80.21	6.64	86.85	7.17	1.16	89.47
346.62	ROI-1040	75.08	10.73	85.81	6.44	0.70	87.93
363.43	ROI-1030_m	75.13	10.64	85.77	6.32	0.99	87.80
373.43	ROI-1030_v	75.03	10.61	85.64	6.35	0.99	87.69
485.95	ROI-1020	79.52	5.36	84.88	6.55	0.99	87.07
579.33	ROI-1010	79.12	5.15	84.27	7.31	1.12	86.99
657.43	ROI-1000	78.74	4.88	83.62	5.96	0.98	85.43
5391.91	ROI-640	46.12	6.20	52.32	3.51	0.79	52.94
5593.00	ROI-630_m	45.46	6.46	51.92	3.51	0.54	52.54
5601.00	ROI-630_v	45.36	4.34	49.70	6.08	1.02	51.58
5722.00	ROI-620	43.15	5.65	48.80	5.66	0.95	50.44
5817.79	ROI-610	43.58	4.61	48.19	7.11	1.12	50.76
5904.20	ROI-600	41.25	6.19	47.44	5.49	0.76	48.98
6215.53	ROI-590	40.91	5.42	46.33	6.24	1.01	48.31
6541.91	ROI-580	40.92	3.15	44.07	6.40	1.26	46.15
6841.30	ROI-570	34.63	5.56	40.19	2.34	0.36	40.47
7003.00	ROI-560.1	35.17	4.62	39.79	3.12	0.56	40.29
7198.90	ROI-560	35.88	3.19	39.07	4.18	0.86	39.96
7565.56	ROI-550	32.70	4.40	37.10	3.65	0.66	37.78
7714.42	ROI-540	32.48	4.05	36.53	3.91	0.71	37.31
7891.47	ROI-530	32.91	2.86	35.77	4.33	0.95	36.73
8076.18	ROI-520	31.02	3.36	34.38	5.15	1.23	35.73
8221.21	ROI-510	29.66	2.71	32.37	4.98	1.13	33.63
8308.91	ROI-500	27.91	3.49	31.40	4.04	0.80	32.23
8372.26	ROI-490	26.05	5.14	31.19	3.31	0.70	31.75
8461.86	ROI-480	27.53	3.22	30.75	3.66	0.88	31.43
8521.20	ROI-470	26.40	3.97	30.37	3.72	0.95	31.08
8573.45	ROI-460	26.88	3.29	30.17	3.06	0.67	30.64
8699.25	ROI-450	25.94	3.63	29.57	4.46	0.86	30.58
8783.88	ROI-440	25.10	3.94	29.04	4.76	0.89	30.19
8874.23	ROI-430	24.19	4.33	28.52	4.61	0.85	29.60
8954.51	ROI-420	24.33	3.80	28.13	4.25	0.83	29.04
9055.74	ROI-410	24.12	3.45	27.57	4.24	0.86	28.48

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
9137.95	ROI-400	23.30	3.84	27.14	4.00	0.76	27.95
9216.50	ROI-390	23.21	3.60	26.81	3.92	0.78	27.59
9291.40	ROI-380	22.60	3.93	26.53	3.69	0.73	27.22
9373.21	ROI-370	22.57	3.61	26.18	3.93	0.78	26.97
9468.59	ROI-360_m	22.31	3.63	25.94	3.38	0.67	26.53
9482.59	ROI-360_v	22.21	3.65	25.86	3.38	0.69	26.44
9607.98	ROI-350	20.82	4.43	25.25	4.75	0.85	26.39
9767.85	ROI-340	20.05	4.11	24.16	4.61	0.95	25.24
9958.00	ROI-330.1	19.87	3.05	22.92	2.97	0.65	23.37
10023.98	ROI-330	19.77	2.84	22.61	4.10	0.94	23.46
10221.68	ROI-320	17.81	3.34	21.15	3.88	0.82	21.92
10436.99	ROI-310	16.04	4.09	20.13	3.32	0.69	20.69
10636.73	ROI-300	15.36	4.00	19.36	3.46	0.68	19.97
10730.95	ROI-290	15.27	3.89	19.16	2.91	0.55	19.59
10890.00	ROI-280.1	15.15	3.47	18.62	3.98	0.92	19.43
10930.82	ROI-280	14.95	3.36	18.31	4.23	0.92	19.22
11121.07	ROI-270	13.83	3.24	17.07	3.27	0.76	17.62
11236.00	ROI-260_m	13.00	3.69	16.69	3.08	0.76	17.17
11248.00	ROI-260_v	12.90	3.70	16.60	3.07	0.67	17.08
11311.37	ROI-250	11.97	4.51	16.48	2.91	0.53	16.91
11400.21	ROI-240	12.24	3.90	16.14	3.50	0.66	16.76
11510.01	ROI-230	11.44	4.18	15.62	4.22	0.79	16.53
11605.69	ROI-220	10.87	4.26	15.13	4.34	0.84	16.09
11779.68	ROI-210	10.50	3.66	14.16	4.30	0.88	15.10
11918.37	ROI-200	9.79	3.65	13.44	3.56	0.70	14.08
12070.00	ROI-190_m	8.81	4.19	13.00	3.13	0.69	13.50
12084.00	ROI-190_v	8.71	3.82	12.53	3.60	0.70	13.19
12147.93	ROI-180	7.80	4.52	12.32	3.42	0.68	12.92
12389.57	ROI-170	7.69	3.65	11.34	3.66	0.75	12.02
12616.13	ROI-160	6.18	4.24	10.42	3.53	0.67	11.05
12680.00	ROI-150_m	6.54	3.57	10.11	3.88	0.76	10.88
12710.00	ROI-150_v	6.53	3.34	9.87	4.08	0.95	10.72
12839.15	ROI-140	4.60	3.98	8.58	4.21	0.79	9.48
13090.51	ROI-130	2.97	4.66	7.63	3.37	0.62	8.21
13150.00	ROI-130.1	2.77	4.71	7.48	3.29	0.62	8.03
13299.03	ROI-120	2.36	4.77	7.13	3.12	0.66	7.62
13468.00	ROI-110.1	2.03	4.55	6.58	3.59	0.62	7.23
13493.07	ROI-110	1.93	4.59	6.52	3.53	0.61	7.16
13537.90	ROI-100_m	2.01	4.55	6.56	2.86	0.54	6.98
13560.00	ROI-100_v	1.91	4.44	6.35	2.97	0.52	6.79
13600.00	ROI-90.1	1.43	4.81	6.24	3.10	0.59	6.73
13630.72	ROI-90	1.33	4.89	6.22	2.89	0.49	6.65
13696.03	ROI-80	1.56	4.49	6.05	3.14	0.60	6.55
13698.00	ROI-80.1	1.54	4.43	5.97	3.48	0.69	6.59
13773.80	ROI-70.1	1.20	4.73	5.93	2.84	0.46	6.34
13780.05	ROI-70	1.20	4.70	5.90	2.91	0.47	6.33
13811.56	ROI-60_m	1.55	4.16	5.71	3.53	0.67	6.35
13827.56	ROI-60_v	1.45	4.18	5.63	3.52	0.76	6.26
13861.00	ROI-50_m	0.85	4.72	5.57	3.41	0.56	6.16
13877.00	ROI-50_v	0.75	3.52	4.27	4.88	0.91	5.48
13901.00	ROI-40.1	0.37	3.82	4.19	4.07	0.73	5.03
13953.03	ROI-40	0.34	3.64	3.97	4.09	0.73	4.83
14010.00	ROI-30.2	-0.05	3.87	3.82	3.74	0.68	4.53
14014.00	ROI-30.1	-0.13	3.96	3.83	3.63	0.66	4.50
14052.36	ROI-30	-0.22	4.02	3.80	3.21	0.56	4.33
14144.67	ROI-20	-0.31	3.87	3.56	3.29	0.60	4.11
14229.00	ROI-10.1	-0.43	3.68	3.25	3.56	0.69	3.90
14231.50	ROI-10_m	-0.47	3.72	3.25	3.52	0.68	3.88
14237.26	ROI-10_v	-0.53	3.08	2.55	4.56	1.00	3.61

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
14257.00	ROI-10.2	-0.55	2.93	2.38	4.86	1.10	3.58
14281.63	ROI-BC.1	-0.64	2.76	2.12	5.89	1.36	3.89
14381.00	ROI-BC	-0.70	1.20	0.50	3.23	2.22	1.03
0.00	BEV-310.5	64.56	3.24	67.80	5.47	1.18	69.33
52.23	BEV-310.4	64.21	2.98	67.19	5.55	1.16	68.76
96.28	BEV-310.3	63.99	2.71	66.70	5.32	1.16	68.14
168.51	BEV-310.2	62.30	3.59	65.89	4.12	0.84	66.75
217.47	BEV-310_m	62.09	3.51	65.60	4.58	1.16	66.67
221.47	BEV-310_v	62.08	3.46	65.54	4.55	1.13	66.60
260.27	BEV-310.1	61.80	3.32	65.12	4.54	0.99	66.18
477.13	BEV-300	60.57	2.80	63.37	5.31	1.15	64.80
622.73	BEV-290	58.80	2.95	61.75	4.26	0.92	62.68
713.91	BEV-280-p_m	58.46	2.67	61.13	5.11	1.13	62.46
719.91	BEV-280-p_v	58.47	2.58	61.05	5.03	1.16	62.34
730.82	BEV-280	58.26	2.64	60.90	4.91	1.14	62.13
844.68	BEV-270	56.78	2.83	59.61	4.56	1.04	60.67
1004.13	BEV-270.1	55.73	2.39	58.12	4.88	1.11	59.33
1292.70	BEV-260.1	51.99	3.07	55.06	4.56	0.94	56.12
1475.28	BEV-260	50.77	2.98	53.75	4.51	1.05	54.79
1588.00	BEV-250	49.48	3.18	52.66	3.94	0.91	53.46
1663.00	BEV-240	49.07	3.15	52.22	3.22	0.68	52.75
1709.00	BEV-230	48.64	3.40	52.05	5.34	1.12	53.50
1804.47	BEV-220	48.20	2.90	51.10	4.83	1.11	52.30
1862.45	BEV-210_m	47.84	2.67	50.51	5.04	1.27	51.80
1868.45	BEV-210_v	47.83	2.51	50.34	4.48	1.21	51.36
1911.89	BEV-200	47.10	2.57	49.67	3.47	0.84	50.29
2012.44	BEV-190	46.30	2.69	48.99	4.27	0.95	49.92
2145.26	BEV-180	46.09	1.87	47.96	3.47	1.07	48.57
2229.06	BEV-170	44.50	2.70	47.20	1.86	0.63	47.38
2329.45	BEV-160_m	43.75	3.19	46.94	2.28	0.51	47.20
2338.92	BEV-160_v	43.74	3.12	46.85	2.36	0.53	47.14
2368.93	BEV-150	43.24	3.37	46.60	3.09	0.76	47.09
2567.88	BEV-140	41.92	2.29	44.21	3.86	1.08	44.97
2796.59	BEV-130	38.87	2.66	41.54	3.40	0.85	42.12
2965.37	BEV-120	37.89	2.50	40.39	5.65	1.40	42.02
3165.28	BEV-110	34.14	2.61	36.75	3.55	0.80	37.39
3265.92	BEV-100	33.16	3.04	36.20	3.38	0.80	36.78
3405.58	BEV-90	32.73	2.71	35.44	3.41	0.79	36.03
3586.41	BEV-80	30.82	3.76	34.58	6.37	1.14	36.64
3847.95	BEV-70	29.84	2.19	32.03	4.03	0.92	32.85
4090.57	BEV-60	28.27	1.95	30.22	4.37	1.06	31.19
4258.54	BEV-50	26.02	2.47	28.49	4.74	1.10	29.63
4396.69	BEV-40	24.01	3.04	27.05	1.78	0.56	27.21
4515.43	BEV-30_m	23.46	3.25	26.71	2.59	0.54	27.05
4532.09	BEV-30_v	23.36	2.52	25.88	3.63	0.87	26.55
4602.61	BEV-20	23.42	1.98	25.40	4.55	1.24	26.45
4716.75	BEV-10	21.01	2.68	23.69	3.56	1.02	24.34
4760.00	BEV-10bis_m	20.62	2.56	23.18	3.63	1.08	23.85
4778.00	BEV-10bis_v	20.61	2.45	23.06	3.60	1.03	23.72

## A.1.2 Tempo di ritorno 200 anni

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
0.00	ROI-1050.1	80.31	10.15	90.46	5.79	0.91	92.17
212.15	ROI-1050_m	80.26	9.24	89.50	7.21	1.07	92.15
230.15	ROI-1050_v	80.21	9.22	89.43	7.19	1.15	92.06
346.62	ROI-1040	75.08	13.60	88.68	6.82	0.71	91.06
363.43	ROI-1030_m	75.13	13.52	88.65	6.67	0.99	90.92
373.43	ROI-1030_v	75.03	12.00	87.03	7.96	1.18	90.25
485.95	ROI-1020	79.52	6.47	85.99	7.67	1.05	88.99
579.33	ROI-1010	79.12	6.23	85.35	8.40	1.18	88.94
657.43	ROI-1000	78.74	5.92	84.66	6.81	1.00	87.03
5391.91	ROI-640	46.12	7.67	53.79	3.51	0.79	54.42
5593.00	ROI-630_m	45.46	8.06	53.52	3.79	0.54	54.25
5601.00	ROI-630_v	45.36	5.32	50.68	6.84	1.04	53.07
5722.00	ROI-620	43.15	6.66	49.81	6.22	0.96	51.78
5817.79	ROI-610	43.58	5.64	49.22	8.27	1.18	52.71
5904.20	ROI-600	41.25	7.21	48.46	6.76	0.86	50.79
6215.53	ROI-590	40.91	6.24	47.15	7.27	1.07	49.84
6541.91	ROI-580	40.92	3.86	44.78	7.25	1.27	47.46
6841.30	ROI-570	34.63	6.34	40.97	2.94	0.42	41.41
7003.00	ROI-560.1	35.17	5.32	40.49	3.85	0.63	41.24
7198.90	ROI-560	35.88	3.85	39.73	4.80	0.88	40.90
7565.56	ROI-550	32.70	5.08	37.78	4.29	0.72	38.72
7714.42	ROI-540	32.48	4.64	37.12	4.77	0.81	38.27
7891.47	ROI-530	32.91	3.37	36.28	4.92	1.00	37.52
8076.18	ROI-520	31.02	3.84	34.86	5.69	1.24	36.51
8221.21	ROI-510	29.66	3.27	32.93	5.46	1.13	34.45
8308.91	ROI-500	27.91	4.10	32.01	4.72	0.86	33.14
8372.26	ROI-490	26.05	5.74	31.79	3.74	0.72	32.50
8461.86	ROI-480	27.53	3.84	31.37	3.96	0.89	32.17
8521.20	ROI-470	26.40	4.64	31.04	4.05	0.95	31.88
8573.45	ROI-460	26.88	4.01	30.89	3.47	0.66	31.50
8699.25	ROI-450	25.94	4.37	30.31	5.06	0.88	31.61
8783.88	ROI-440	25.10	4.69	29.79	5.53	0.93	31.35
8874.23	ROI-430	24.19	5.05	29.24	5.48	0.92	30.77
8954.51	ROI-420	24.33	4.49	28.82	4.80	0.86	30.00
9055.74	ROI-410	24.12	4.16	28.28	4.72	0.86	29.42
9137.95	ROI-400	23.30	4.56	27.86	4.63	0.79	28.95
9216.50	ROI-390	23.21	4.31	27.52	4.53	0.79	28.56
9291.40	ROI-380	22.60	4.65	27.25	4.16	0.73	28.13
9373.21	ROI-370	22.57	4.33	26.90	4.31	0.78	27.85
9468.59	ROI-360_m	22.31	4.31	26.62	3.94	0.67	27.41
9482.59	ROI-360_v	22.21	4.32	26.53	4.09	0.70	27.38
9607.98	ROI-350	20.82	5.13	25.95	5.79	0.95	27.66
9767.85	ROI-340	20.05	4.69	24.74	5.12	0.97	26.07
9958.00	ROI-330.1	19.87	3.57	23.44	3.39	0.67	24.02
10023.98	ROI-330	19.77	3.36	23.13	4.55	0.94	24.18
10221.68	ROI-320	17.81	3.93	21.74	4.42	0.84	22.74
10436.99	ROI-310	16.04	4.73	20.77	3.74	0.70	21.48
10636.73	ROI-300	15.36	4.60	19.96	4.07	0.73	20.80
10730.95	ROI-290	15.27	4.47	19.74	3.50	0.60	20.36
10890.00	ROI-280.1	15.15	4.04	19.19	4.45	0.94	20.20
10930.82	ROI-280	14.95	3.94	18.89	4.65	0.92	19.99
11121.07	ROI-270	13.83	3.93	17.76	3.57	0.77	18.41
11236.00	ROI-260_m	13.00	4.41	17.41	3.50	0.76	18.04
11248.00	ROI-260_v	12.90	4.42	17.32	3.49	0.67	17.94
11311.37	ROI-250	11.97	5.22	17.19	3.41	0.56	17.78



PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
11400.21	ROI-240	12.24	4.58	16.82	4.04	0.69	17.65
11510.01	ROI-230	11.44	4.85	16.29	4.82	0.83	17.47
11605.69	ROI-220	10.87	4.92	15.79	4.95	0.87	17.04
11779.68	ROI-210	10.50	4.34	14.84	4.80	0.88	16.01
11918.37	ROI-200	9.79	4.40	14.19	4.01	0.70	15.01
12070.00	ROI-190_m	8.81	5.00	13.81	3.55	0.71	14.45
12084.00	ROI-190_v	8.71	4.47	13.18	4.16	0.73	14.06
12147.93	ROI-180	7.80	5.19	12.99	3.89	0.69	13.76
12389.57	ROI-170	7.69	4.32	12.01	4.20	0.76	12.91
12616.13	ROI-160	6.18	4.92	11.10	4.06	0.70	11.95
12680.00	ROI-150_m	6.54	4.23	10.77	4.42	0.91	11.77
12710.00	ROI-150_v	6.53	4.14	10.67	4.44	0.92	11.67
12839.15	ROI-140	4.60	4.75	9.35	4.62	0.80	10.44
13090.51	ROI-130	2.97	5.55	8.52	3.69	0.63	9.21
13150.00	ROI-130.1	2.77	5.65	8.42	3.50	0.62	9.04
13299.03	ROI-120	2.36	5.79	8.15	3.30	0.67	8.70
13468.00	ROI-110.1	2.03	5.69	7.72	3.64	0.62	8.39
13493.07	ROI-110	1.93	5.77	7.70	3.54	0.61	8.34
13537.90	ROI-100_m	2.01	5.71	7.72	3.09	0.54	8.20
13560.00	ROI-100_v	1.91	5.54	7.45	3.21	0.52	7.97
13600.00	ROI-90.1	1.43	5.91	7.34	3.39	0.59	7.92
13630.72	ROI-90	1.33	6.01	7.34	3.18	0.49	7.85
13696.03	ROI-80	1.56	5.64	7.20	3.36	0.60	7.77
13698.00	ROI-80.1	1.54	5.55	7.09	3.81	0.69	7.82
13773.80	ROI-70.1	1.20	5.88	7.08	3.20	0.46	7.60
13780.05	ROI-70	1.20	5.85	7.05	3.28	0.47	7.60
13811.56	ROI-60_m	1.55	5.30	6.85	3.87	0.67	7.62
13827.56	ROI-60_v	1.45	5.32	6.77	3.86	0.75	7.53
13861.00	ROI-50_m	0.85	5.85	6.70	3.85	0.56	7.46
13877.00	ROI-50_v	0.75	4.30	5.05	5.57	0.93	6.62
13901.00	ROI-40.1	0.37	4.59	4.96	4.79	0.79	6.13
13953.03	ROI-40	0.34	4.40	4.74	4.78	0.77	5.90
14010.00	ROI-30.2	-0.05	4.64	4.59	4.36	0.72	5.56
14014.00	ROI-30.1	-0.13	4.73	4.60	4.26	0.70	5.52
14052.36	ROI-30	-0.22	4.79	4.58	3.81	0.60	5.32
14144.67	ROI-20	-0.31	4.65	4.34	3.79	0.61	5.07
14229.00	ROI-10.1	-0.43	4.49	4.06	3.93	0.69	4.85
14231.50	ROI-10_m	-0.47	4.52	4.06	3.88	0.68	4.82
14237.26	ROI-10_v	-0.53	3.48	2.95	5.46	1.10	4.47
14257.00	ROI-10.2	-0.55	3.31	2.76	5.84	1.21	4.49
14281.63	ROI-BC.1	-0.64	3.10	2.46	7.05	1.52	4.99
14381.00	ROI-BC	-0.70	1.20	0.50	3.35	2.08	1.07
0.00	BEV-310.5	64.56	3.81	68.37	6.20	1.24	70.33
52.23	BEV-310.4	64.21	3.56	67.77	6.14	1.19	69.69
96.28	BEV-310.3	63.99	3.29	67.28	5.78	1.34	68.98
168.51	BEV-310.2	62.30	4.20	66.50	4.86	0.89	67.71
217.47	BEV-310_m	62.09	4.15	66.24	5.28	1.18	67.66
221.47	BEV-310_v	62.08	4.09	66.17	5.31	1.22	67.61
260.27	BEV-310.1	61.80	3.90	65.70	5.34	1.19	67.15
477.13	BEV-300	60.57	3.34	63.91	6.16	1.21	65.85
622.73	BEV-290	58.80	3.46	62.26	4.82	0.94	63.44
713.91	BEV-280-p_m	58.46	3.19	61.65	5.92	1.17	63.44
719.91	BEV-280-p_v	58.47	3.07	61.54	5.83	1.15	63.27
730.82	BEV-280	58.26	3.17	61.43	5.61	1.16	63.03
844.68	BEV-270	56.78	3.41	60.19	5.23	1.09	61.59
1004.13	BEV-270.1	55.73	2.93	58.65	5.52	1.18	60.20
1292.70	BEV-260.1	51.99	3.67	55.66	5.23	1.03	57.06
1475.28	BEV-260	50.77	3.55	54.32	5.14	1.09	55.67
1588.00	BEV-250	49.48	3.73	53.21	4.39	0.95	54.19

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
1663.00	BEV-240	49.07	3.70	52.77	3.81	0.73	53.51
1709.00	BEV-230	48.64	3.94	52.58	6.29	1.19	54.60
1804.47	BEV-220	48.20	3.42	51.62	5.56	1.13	53.19
1862.45	BEV-210_m	47.84	3.16	51.00	5.69	1.39	52.65
1868.45	BEV-210_v	47.83	3.03	50.86	5.35	1.31	52.32
1911.89	BEV-200	47.10	3.05	50.15	4.05	0.89	50.98
2012.44	BEV-190	46.30	3.17	49.47	5.05	1.02	50.77
2145.26	BEV-180	46.09	2.27	48.36	3.80	1.21	49.09
2229.06	BEV-170	44.50	3.26	47.76	2.39	0.72	48.05
2329.45	BEV-160_m	43.75	3.69	47.44	2.68	0.58	47.81
2338.92	BEV-160_v	43.74	3.62	47.35	2.77	0.60	47.75
2368.93	BEV-150	43.24	3.86	47.09	3.53	0.80	47.73
2567.88	BEV-140	41.92	2.67	44.59	4.44	1.25	45.59
2796.59	BEV-130	38.87	3.07	41.94	3.77	0.96	42.66
2965.37	BEV-120	37.89	2.92	40.81	6.03	1.42	42.66
3165.28	BEV-110	34.14	3.15	37.29	4.01	0.85	38.11
3265.92	BEV-100	33.16	3.61	36.77	3.80	0.81	37.51
3405.58	BEV-90	32.73	3.33	36.06	3.81	0.86	36.80
3586.41	BEV-80	30.82	4.46	35.28	7.44	1.23	38.11
3847.95	BEV-70	29.84	2.68	32.52	4.67	0.96	33.63
4090.57	BEV-60	28.27	2.41	30.68	4.99	1.09	31.95
4258.54	BEV-50	26.02	3.00	29.02	4.75	1.19	30.17
4396.69	BEV-40	24.01	3.81	27.82	2.12	0.65	28.05
4515.43	BEV-30_m	23.46	4.00	27.46	2.89	0.56	27.89
4532.09	BEV-30_v	23.36	2.92	26.28	4.37	0.96	27.25
4602.61	BEV-20	23.42	2.31	25.73	5.17	1.29	27.10
4716.75	BEV-10	21.01	2.98	23.99	3.84	1.13	24.74
4760.00	BEV-10bis_m	20.62	2.81	23.43	4.16	1.30	24.31
4778.00	BEV-10bis_v	20.61	2.76	23.37	4.64	1.51	24.47

### A.1.3 Tempo di ritorno 500 anni

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
0.00	ROI-1050.1	80.31	11.89	92.20	5.79	0.91	93.91
212.15	ROI-1050_m	80.26	11.05	91.31	7.25	1.15	93.99
230.15	ROI-1050_v	80.21	10.95	91.16	7.23	1.15	93.82
346.62	ROI-1040	75.08	15.61	90.69	6.83	0.71	93.06
363.43	ROI-1030_m	75.13	15.51	90.64	6.77	0.99	92.97
373.43	ROI-1030_v	75.03	12.83	87.86	8.90	1.29	91.89
485.95	ROI-1020	79.52	7.14	86.66	8.31	1.09	90.18
579.33	ROI-1010	79.12	6.88	86.00	8.99	1.21	90.12
657.43	ROI-1000	78.74	6.56	85.30	7.31	1.02	88.03
5391.91	ROI-640	46.12	8.60	54.72	3.51	0.79	55.34
5593.00	ROI-630_m	45.46	9.05	54.51	3.92	0.54	55.29
5601.00	ROI-630_v	45.36	5.92	51.28	7.31	1.06	54.00
5722.00	ROI-620	43.15	7.27	50.41	6.60	0.96	52.63
5817.79	ROI-610	43.58	6.27	49.85	8.99	1.22	53.97
5904.20	ROI-600	41.25	7.81	49.06	7.53	0.92	51.95
6215.53	ROI-590	40.91	6.74	47.65	7.88	1.10	50.82
6541.91	ROI-580	40.92	4.29	45.21	7.78	1.29	48.30
6841.30	ROI-570	34.63	6.80	41.43	3.31	0.45	41.99
7003.00	ROI-560.1	35.17	5.74	40.91	4.30	0.67	41.85
7198.90	ROI-560	35.88	4.25	40.13	5.14	0.90	41.47
7565.56	ROI-550	32.70	5.47	38.17	4.67	0.76	39.28

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
7714.42	ROI-540	32.48	4.98	37.46	5.25	0.85	38.87
7891.47	ROI-530	32.91	3.66	36.57	5.30	1.01	38.00
8076.18	ROI-520	31.02	4.13	35.15	6.01	1.24	36.99
8221.21	ROI-510	29.66	3.61	33.27	5.71	1.13	34.93
8308.91	ROI-500	27.91	4.48	32.39	5.06	0.88	33.69
8372.26	ROI-490	26.05	6.11	32.16	3.99	0.72	32.97
8461.86	ROI-480	27.53	4.23	31.76	4.14	0.89	32.63
8521.20	ROI-470	26.40	5.06	31.46	4.27	0.95	32.38
8573.45	ROI-460	26.88	4.45	31.33	3.72	0.66	32.03
8699.25	ROI-450	25.94	4.82	30.76	5.42	0.90	32.25
8783.88	ROI-440	25.10	5.15	30.25	5.96	0.96	32.06
8874.23	ROI-430	24.19	5.49	29.68	5.95	0.95	31.49
8954.51	ROI-420	24.33	4.91	29.24	5.08	0.86	30.56
9055.74	ROI-410	24.12	4.61	28.73	4.95	0.86	29.98
9137.95	ROI-400	23.30	5.02	28.32	4.91	0.80	29.55
9216.50	ROI-390	23.21	4.78	27.99	4.77	0.79	29.14
9291.40	ROI-380	22.60	5.15	27.75	4.33	0.73	28.71
9373.21	ROI-370	22.57	4.85	27.42	4.45	0.78	28.43
9468.59	ROI-360_m	22.31	4.81	27.12	4.19	0.67	28.01
9482.59	ROI-360_v	22.21	4.71	26.92	4.51	0.73	27.96
9607.98	ROI-350	20.82	5.60	26.42	6.40	1.00	28.51
9767.85	ROI-340	20.05	5.06	25.11	5.45	0.98	26.62
9958.00	ROI-330.1	19.87	3.91	23.78	3.65	0.68	24.46
10023.98	ROI-330	19.77	3.70	23.47	4.83	0.94	24.66
10221.68	ROI-320	17.81	4.32	22.13	4.76	0.85	23.29
10436.99	ROI-310	16.04	5.14	21.18	4.00	0.70	22.00
10636.73	ROI-300	15.36	5.00	20.36	4.45	0.75	21.37
10730.95	ROI-290	15.27	4.86	20.13	3.86	0.63	20.89
10890.00	ROI-280.1	15.15	4.41	19.56	4.74	0.94	20.70
10930.82	ROI-280	14.95	4.32	19.27	4.90	0.93	20.49
11121.07	ROI-270	13.83	4.40	18.23	3.77	0.77	18.95
11236.00	ROI-260_m	13.00	4.88	17.88	3.78	0.76	18.61
11248.00	ROI-260_v	12.90	4.89	17.79	3.77	0.67	18.52
11311.37	ROI-250	11.97	5.67	17.64	3.73	0.58	18.35
11400.21	ROI-240	12.24	5.03	17.27	4.39	0.71	18.25
11510.01	ROI-230	11.44	5.30	16.74	5.17	0.84	18.10
11605.69	ROI-220	10.87	5.36	16.23	5.32	0.88	17.67
11779.68	ROI-210	10.50	4.81	15.31	5.10	0.88	16.63
11918.37	ROI-200	9.79	4.93	14.72	4.27	0.70	15.65
12070.00	ROI-190_m	8.81	5.56	14.37	3.78	0.71	15.10
12084.00	ROI-190_v	8.71	4.90	13.61	4.50	0.75	14.64
12147.93	ROI-180	7.80	5.64	13.44	4.16	0.70	14.32
12389.57	ROI-170	7.69	4.78	12.47	4.52	0.77	13.51
12616.13	ROI-160	6.18	5.42	11.60	4.36	0.71	12.56
12680.00	ROI-150_m	6.54	4.75	11.29	4.66	0.91	12.40
12710.00	ROI-150_v	6.53	4.74	11.27	4.71	0.93	12.40
12839.15	ROI-140	4.60	5.32	9.92	4.83	0.80	11.11
13090.51	ROI-130	2.97	6.27	9.24	3.87	0.63	10.01
13150.00	ROI-130.1	2.77	6.41	9.18	3.63	0.62	9.86
13299.03	ROI-120	2.36	6.64	9.00	3.39	0.67	9.58
13468.00	ROI-110.1	2.03	6.61	8.64	3.66	0.62	9.32
13493.07	ROI-110	1.93	6.70	8.63	3.55	0.61	9.27
13537.90	ROI-100_m	2.01	6.61	8.62	3.17	0.54	9.13
13560.00	ROI-100_v	1.91	6.34	8.25	3.35	0.52	8.82
13600.00	ROI-90.1	1.43	6.71	8.14	3.56	0.59	8.78
13630.72	ROI-90	1.33	6.82	8.15	3.32	0.49	8.71
13696.03	ROI-80	1.56	6.47	8.03	3.45	0.60	8.64
13698.00	ROI-80.1	1.54	6.36	7.90	3.95	0.69	8.69
13773.80	ROI-70.1	1.20	6.70	7.90	3.38	0.46	8.48

PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
13780.05	ROI-70	1.20	6.67	7.87	3.46	0.47	8.48
13811.56	ROI-60_m	1.55	6.12	7.67	4.04	0.67	8.50
13827.56	ROI-60_v	1.45	6.14	7.59	4.02	0.75	8.41
13861.00	ROI-50_m	0.85	6.66	7.51	4.07	0.56	8.36
13877.00	ROI-50_v	0.75	4.85	5.60	5.90	0.93	7.38
13901.00	ROI-40.1	0.37	5.17	5.54	5.12	0.80	6.88
13953.03	ROI-40	0.34	5.00	5.33	5.08	0.78	6.65
14010.00	ROI-30.2	-0.05	5.27	5.21	4.61	0.73	6.30
14014.00	ROI-30.1	-0.13	5.35	5.22	4.51	0.71	6.26
14052.36	ROI-30	-0.22	5.43	5.22	4.05	0.61	6.05
14144.67	ROI-20	-0.31	5.34	5.03	3.89	0.62	5.80
14229.00	ROI-10.1	-0.43	5.25	4.82	3.99	0.69	5.63
14231.50	ROI-10_m	-0.47	5.28	4.82	3.93	0.68	5.60
14237.26	ROI-10_v	-0.53	3.69	3.15	5.89	1.15	4.92
14257.00	ROI-10.2	-0.55	3.50	2.95	6.30	1.26	4.98
14281.63	ROI-BC.1	-0.64	3.27	2.63	7.64	1.59	5.61
14381.00	ROI-BC	-0.70	1.20	0.50	3.54	2.12	1.14
0.00	BEV-310.5	64.56	4.18	68.74	6.66	1.28	71.00
52.23	BEV-310.4	64.21	3.93	68.14	6.55	1.21	70.33
96.28	BEV-310.3	63.99	3.66	67.65	6.08	1.36	69.53
168.51	BEV-310.2	62.30	4.60	66.90	5.35	0.92	68.36
217.47	BEV-310_m	62.09	4.53	66.62	5.70	1.18	68.28
221.47	BEV-310_v	62.08	4.46	66.54	5.87	1.28	68.30
260.27	BEV-310.1	61.80	4.26	66.06	5.86	1.32	67.81
477.13	BEV-300	60.57	3.69	64.26	6.71	1.24	66.56
622.73	BEV-290	58.80	3.80	62.60	5.16	0.95	63.96
713.91	BEV-280-p_m	58.46	3.56	62.02	6.45	1.19	64.14
719.91	BEV-280-p_v	58.47	3.42	61.89	6.34	1.22	63.94
730.82	BEV-280	58.26	3.51	61.77	6.06	1.17	63.64
844.68	BEV-270	56.78	3.77	60.55	5.67	1.11	62.19
1004.13	BEV-270.1	55.73	3.27	59.00	5.93	1.28	60.79
1292.70	BEV-260.1	51.99	4.05	56.04	5.63	1.10	57.65
1475.28	BEV-260	50.77	3.93	54.70	5.48	1.11	56.23
1588.00	BEV-250	49.48	4.08	53.56	4.68	0.99	54.68
1663.00	BEV-240	49.07	4.06	53.13	4.17	0.75	54.01
1709.00	BEV-230	48.64	4.30	52.94	6.87	1.22	55.35
1804.47	BEV-220	48.20	3.76	51.96	6.00	1.15	53.80
1862.45	BEV-210_m	47.84	3.53	51.37	6.18	1.38	53.32
1868.45	BEV-210_v	47.83	3.37	51.20	5.56	1.25	52.78
1911.89	BEV-200	47.10	3.37	50.47	4.37	0.92	51.45
2012.44	BEV-190	46.30	3.48	49.78	5.52	1.07	51.33
2145.26	BEV-180	46.09	2.53	48.62	4.08	1.31	49.47
2229.06	BEV-170	44.50	3.59	48.09	2.62	0.73	48.44
2329.45	BEV-160_m	43.75	3.99	47.74	2.96	0.65	48.19
2338.92	BEV-160_v	43.74	3.91	47.65	3.06	0.69	48.12
2368.93	BEV-150	43.24	4.15	47.38	3.85	0.82	48.14
2567.88	BEV-140	41.92	2.93	44.84	4.80	1.26	46.02
2796.59	BEV-130	38.87	3.33	42.20	4.01	1.02	43.02
2965.37	BEV-120	37.89	3.19	41.08	6.31	1.48	43.11
3165.28	BEV-110	34.14	3.53	37.67	4.26	0.86	38.59
3265.92	BEV-100	33.16	4.02	37.18	4.04	0.84	38.00
3405.58	BEV-90	32.73	3.75	36.48	4.08	0.88	37.33
3586.41	BEV-80	30.82	4.92	35.74	8.09	1.28	39.07
3847.95	BEV-70	29.84	3.00	32.84	5.08	0.99	34.16
4090.57	BEV-60	28.27	2.72	30.99	5.42	1.14	32.49
4258.54	BEV-50	26.02	3.31	29.33	5.03	1.24	30.62
4396.69	BEV-40	24.01	4.34	28.35	2.31	0.70	28.62
4515.43	BEV-30_m	23.46	4.52	27.98	3.04	0.57	28.45
4532.09	BEV-30_v	23.36	3.19	26.55	4.86	1.02	27.75



PROGRESSIVA	ID SEZIONE	Quota fondo	Y	PL	V	Fr	H
[m]	[-]	[m s.l.m.]	[m]	[m s.l.m.]	[m/s]	[-]	[m s.l.m.]
4602.61	BEV-20	23.42	2.53	25.95	5.58	1.32	27.54
4716.75	BEV-10	21.01	3.16	24.17	4.10	1.20	25.02
4760.00	BEV-10bis_m	20.62	2.99	23.61	5.81	1.90	25.33
4778.00	BEV-10bis_v	20.61	2.91	23.52	4.70	1.58	24.65



ALLEGATO B  
CODICE DI CALCOLO MIKE BY DHI  
Descrizione Tecnica





## B.1 MIKE HYDRO RIVER

### B.1.1 PREMESSA

MIKE HYDRO River è un software in grado di simulare il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. MIKE HYDRO River, che si presenta come il diretto successore del conosciuto MIKE11, sviluppato a partire dagli anni '70 dal DHI (Danish Hydraulic Institute), rappresenta lo stato dell'arte nella modellistica matematica in ambito fluviale e riferimento nell'ambito della modellistica idrodinamica monodimensionale.

Caratteristiche del codice sono la velocità di calcolo e l'efficienza del robusto motore di simulazione idrodinamica (risolve le equazioni complete del De St.Venant), la struttura logica e sequenziale per l'inserimento e gestione dei dati di input (geometrie, serie storiche ecc.) ed i molteplici strumenti di interpretazione e visualizzazione dei risultati, in grado di garantire un'ottima rappresentazione degli studi condotti (rappresentazione di sezioni, profili, piani quotati, anche in ambiente GIS).

La grande flessibilità del codice di calcolo permette di integrare, attraverso specifici moduli, le applicazioni idrodinamiche con fenomeni idrologici, trasporto solido, advezione-dispersione, qualità delle acque, ecologia, rendendo MIKE HYDRO River uno strumento indispensabile per affrontare e risolvere molteplici problemi d'ingegneria fluviale quali, ad esempio:

- studi di idraulica fluviale e di propagazione dell'onda di piena;
- studi di idrologia e idrogeologia;
- supporto alla progettazione e gestione di opere idrauliche;
- analisi della rottura dighe;
- analisi del trasporto solido e morfologia fluviale;
- modelli di previsione in tempo reale e di supporto decisionale;
- analisi dei fenomeni di intrusione del cuneo salino in fiumi ed estuari;
- studi di valutazione della qualità delle acque sia superficiali che sotterranee;
- analisi dello stato ecologico dei corsi d'acqua.

MIKE HYDRO River è costituito dai seguenti moduli:

- HD (idrodinamico): simulazione del flusso in canali a pelo libero, costituisce la base per ulteriori moduli aggiuntivi;
- RR (afflussi-deflussi): modulo che consente, partendo dai dati meteorologici (pioggia, temperature, evapotraspirazione, ecc...), su bacini naturali o artificiali, di ricostruire attraverso l'utilizzo di modelli idrologici (NAM, UHM, Drift, ecc...) le portate idriche in assegnate sezioni di calcolo;
- AD (advezione-dispersione): simulazione del processo di advezione e dispersione di una sostanza in soluzione o in sospensione di qualsiasi natura nel corpo idrico, eventualmente caratterizzata da una cinetica di decadimento lineare;
- ECOLab (ecologico): simulazione di una serie di processi qualitativi, tra i quali il ciclo BOD-DO con nitrificazione-denitrificazione, il ciclo del fosforo, l'eutrofizzazione, il trasporto di metalli pesanti ecc.;

- ST (trasporto sedimenti): simulazione del trasporto solido di materiale non coesivo, in modalità disaccoppiata (senza variazione della geometria del fondo alveo) o accoppiata (calcolo delle trasformazioni morfologiche). Questo modulo è attivabile utilizzando l'interfaccia di MIKE11 classic.
- DA (previsioni in tempo reale): il modulo consente, assimilando i dati misurati in tempo reale su un bacino e/o corso d'acqua, di correggere la simulazione idrodinamica al fine di garantire una affidabilità massima sulla previsione di un evento di piena.

Particolarmente efficace risulta la possibilità di poter integrare il codice MIKE HYDRO River, con altri codici di calcolo della famiglia MIKE quali: MIKE 21 (MIKE FLOOD), per simulare in maniera combinata fenomeni 1D e 2D; MIKE SHE, per la modellazione di corpi idrici superficiali e sotterranei; WEST, per simulare in dettaglio i processi nell'impianto di trattamento ed il relativo impatto sul corso d'acqua recettore; MOUSE (MIKE URBAN FLOOD), simula le interferenze tra il corso d'acqua e la rete di drenaggio.

Di seguito si descrive il codice MIKE HYDRO River HD.

## B.1.2 MODULO IDRODINAMICO (HD)

Il modulo idrodinamico HD rappresenta il "cuore" del codice di calcolo MIKE HYDRO River ed è in grado di simulare il flusso idrico monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. Attraverso l'utilizzo di HD è possibile simulare:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso quasi - bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e confluenze).

L'adozione del programma di simulazione MIKE HYDRO River consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

## B.1.3 DESCRIZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO SIMULATE

Il modello consente di attivare tre diverse descrizioni del moto, mediante tre differenti formulazioni matematiche:

- Approccio dell'"onda cinematica". Le condizioni di moto sono calcolate imponendo il bilancio tra le forze di gravità e di attrito. Questa semplificazione non permette di simulare gli effetti di rigurgito.
- Approccio dell'"onda diffusiva". Oltre alle forze di gravità ed attrito viene tenuto conto del gradiente idrostatico in modo tale da poter valutare anche gli effetti a monte delle condizioni al contorno di valle e quindi simulare i fenomeni di rigurgito.

- Approccio dell'"onda dinamica". Utilizzando le equazioni complete del moto, comprese le forze di accelerazione, è possibile simulare con questa formulazione transitori veloci, flussi di marea ecc.

In funzione del tipo di problema da risolvere è possibile scegliere la descrizione del moto più appropriata. Ognuna delle tre formulazioni consente di simulare sia sistemi idrici ramificati che reti idrauliche con maglie chiuse.

## B.1.4 EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE HYDRO River risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2AR} = 0$$

dove:

- A = area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);
- C = coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>);
- g = accelerazione di gravità (m s<sup>-2</sup>);
- h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q = portata (m<sup>3</sup>/s);
- R = raggio idraulico (m);
- α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q = portata laterale addotta (m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup>).

## B.1.5 SIMULAZIONE DELLE CORRENTI VELOCI CON L'APPROCCIO DELL'ONDA DINAMICA

Per le correnti veloci viene applicata una equazione "ridotta" del moto, ottenuta trascurando il termine non lineare:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

La descrizione del moto è tanto più accurata quanto meno rapidamente variabile è la velocità della corrente.

Il vantaggio di questa schematizzazione è rappresentato dal fatto che è possibile ottenere una soluzione stabile con la stessa metodologia usata per le correnti lente. Nella transizione tra corrente lenta e veloce viene applicata una riduzione graduale del termine non lineare.

## B.1.6 APPROSSIMAZIONE DELL'ONDA DIFFUSIVA

L'approssimazione dell'"onda diffusiva" consiste nel trascurare, nelle equazioni generali di De Saint Venant, tutti i termini legati alla quantità di moto:

$$gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQQ}{C^2AR} = 0$$

Questa formulazione assicura ancora la descrizione dell'effetto di rigurgito attraverso il termine  $\frac{\partial h}{\partial x}$ . Per ragioni di stabilità questo termine viene smorzato; ciò significa che vengono risolti soltanto fenomeni di rigurgito relativamente stazionari (confrontati con lo step di tempo utilizzato).

## B.1.7 DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. Sono diversi i tipi di strutture che possono essere simulate:

### B.1.7.1 Stramazzo a larga soglia (weir)

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

### B.1.7.2 Tombino (culvert)

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". Il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso: il codice calcola in automatico una relazione Q-h che contempla tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.



### B.1.7.3 Ponte (bridge)

In MIKE HYDRO River possono essere utilizzate diverse formulazioni da letteratura per il calcolo del deflusso attraverso i ponti e del conseguente effetto di rigurgito. In particolare, sono implementati i modelli della FHWA (Federal Highway Administration USA, WSPRO method) e della USBPR (US Bureau of Public Roads), modelli per la simulazione della presenza delle pile (Nagler e Yarnell), modelli per il libero deflusso attraverso ponti ad arco (Biery & Delour, HR method). Tutti i precedenti metodi di calcolo possono essere integrati con il calcolo del moto in pressione e con il calcolo del sormonto della struttura (tombini e stramazzi).

### B.1.7.4 Pompa (pump)

In MIKE HYDRO River una pompa viene descritta specificandone le modalità operative, ossia se lavora a portata costante o seguendo una propria curva caratteristica.

### B.1.7.5 Relazione $Q = A(Zj1). Zj2$ (control)

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

### B.1.7.6 Struttura mobile (gate)

È possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

## B.1.8 RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE HYDRO River consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler. Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQQ}{M^2AR^{4/3}}$$

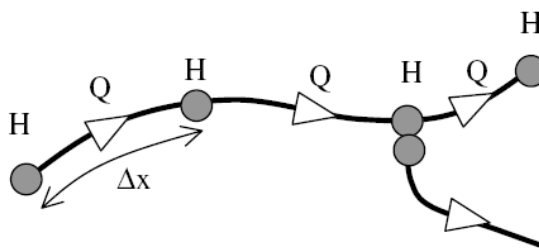
dove M è il coefficiente di Strickler, pari a  $1/n$ , essendo n il coefficiente di Manning.

## B.1.9 CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

## B.1.10 METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).



La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

## B.1.11 CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE HYDRO River le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

## B.1.12 DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione.

Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

Cr = numero di Courant;

d = altezza d'acqua media;

V = velocità media della corrente;

g = accelerazione di gravità;

Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario.

Per correnti lente ( $Fr < 1$ ), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

## 2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V * Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello MIKE HYDRO River genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti ulteriori nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

## B.2 MIKE 21 HD

### B.2.1 PREMESSA

Il MIKE 21 è un programma modulare contenente diversi codici per la simulazione di corpi idrici per i quali sia possibile adottare l'approssimazione idrodinamica bidimensionale, piana, per fluidi verticalmente omogenei. Infatti, il numero "21" che contraddistingue il codice indica proprio la bidimensionalità nel piano ("2") e la monodimensionalità lungo la verticale ("1").

Il sistema modellistico è stato sviluppato per la simulazione delle correnti a pelo libero e dei fenomeni correlati all'idraulica in fiumi, laghi o invasi, così come in ambito costiero e offshore. I principali campi di applicazione sono:

- modellazione idrodinamica del trasporto solido e della qualità delle acque in fiumi;
- laghi ed aree golenali;
- studio del moto ondoso in aree costiere, bacini portuali ed offshore;
- analisi idrodinamica del trasporto solido e morfologica in aree costiere;
- analisi della qualità delle acque al largo e sottocosta;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere costiere ed offshore;
- supporto alla pianificazione e progettazione di opere di difesa fluviale;
- supporto all'ottimizzazione di layout portuali;
- analisi impatto ambientale;
- previsione degli stati di mare a supporto della navigazione;
- analisi di allagamenti in aree costiere e fenomeni di storm surge.

In generale il MIKE 21 offre un ambiente di lavoro completo, efficace e robusto a supporto dell'ingegneria e della pianificazione e gestione territoriale a diverse scale spaziali. La combinazione di un'interfaccia grafica avanzata con un motore di calcolo robusto ed affidabile, frutto di un pluriennale e continuo sviluppo da parte del DHI, rende questo software lo strumento più utilizzato ed efficace per l'ingegneria fluviale e marittima in tutto il mondo.





Il pacchetto MIKE 21 è disponibile in 4 versioni che si differenziano in base alla schematizzazione geometrica adottata:

- CLASSIC GRID (Griglia classica singola): le equazioni di continuità e del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme in tutto il dominio di calcolo;
- MULTIPLE GRID (Griglia multipla): questo schema utilizza lo stesso approccio della griglia singola, con la possibilità di innestare nel dominio griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio;
- FLEXIBLE MESH (Griglia flessibile): questo schema utilizza un metodo ai volumi finiti per la discretizzazione delle equazioni di flusso e trasporto con valori centrati sul singolo elemento. Il dominio di calcolo è discretizzato nelle dimensioni orizzontali attraverso una maglia non strutturata. La griglia non strutturata garantisce il massimo della flessibilità nella rappresentazione di geometrie complesse, in particolare per domini di calcolo estesi in cui sia necessario adottare una risoluzione spaziale variabile;
- CURVILINEAR (Griglia curvilinea): è la griglia adottata da MIKE 21C, codice di calcolo studiato appositamente per applicazioni di morfologia fluviale.

In campo fluviale MIKE 21 può essere utilizzato in modo integrato con altri codici di calcolo del DHI, in particolare:

- MIKE 11, grazie al modulo MIKE FLOOD, che consente di condurre simulazioni idrodinamiche accoppiando gli approcci 1d e 2d in modo totalmente integrato;
- MIKE URBAN CS per la simulazione di allagamenti in ambito urbano dalla rete di drenaggio.

In campo marittimo e costiero, dove risulta più efficace l'utilizzo della versione FM, il MIKE 21 consente di studiare in modo integrato il moto ondoso (moduli SW, PMS, NSW, BW, EMS), le

correnti e le variazioni di livello superficiale (HD), il trasporto solido e la morfologia di sedimenti non coesivi e coesivi (ST, MT), la dispersione di soluti (AD/TR).

L'utilizzo di formati comuni a tutti i codici del mondo MIKE garantisce la possibilità di utilizzare i file di MIKE 21 anche in input ad altri modelli quali LITPACK e MIKE 3.

Infine, attraverso l'utilizzo di EcoLab, MIKE 21 consente di studiare anche i processi più complessi in termini di qualità delle acque, in presenza di composti e reagenti.

Di seguito si descrive il modulo MIKE 21 HD Classical Grid.

## B.2.2 Modulo Idrodinamico (HD)

Il modulo idrodinamico (HD), cuore del codice MIKE 21, simula le variazioni di livello e corrente in risposta alle differenti tipologie di forzanti considerate, potendo essere utilizzato da solo o come base per i calcoli effettuati dagli altri moduli disponibili. In particolare, il modulo HD di MIKE 21 permette di tenere in considerazione i seguenti fenomeni:

- flooding and drying;
- perdite di carico;
- attrito al fondo;
- forza di Coriolis;
- effetto del vento;
- gradienti di pressione barometrica;
- coperture di ghiaccio;
- effetto delle maree;
- precipitazioni/Evaporazioni;
- radiation stresses;
- pozzi e sorgenti.

Come menzionato in precedenza, i risultati di una simulazione MIKE 21 HD possono essere usati come input per la simulazione di fenomeni fisici strettamente dipendenti dagli aspetti idrodinamici:

- trasporto di sostanze disciolte/sospese in acqua, modulo AD e modulo "Mud Transport";
- trasporto solido di materiale non coesivo, modulo ST;
- qualità delle acque ed idroecologia, modulo ECO Lab.

Infine, per quanto riguarda le analisi dei fenomeni di esondazione, MIKE 21 può essere accoppiato in modo dinamico attraverso l'interfaccia MIKE FLOOD al codice monodimensionale MIKE 11, per la simulazione degli alvei e dei canali, ed al codice MIKE URBAN, per la simulazione delle reti di drenaggio e collettamento urbano, schematizzando il dominio di calcolo in modo integrato 1D/2D.

Il modulo idrodinamico HD del Mike 21 risolve le equazioni complete del moto di De St. Venant in un caso bidimensionale piano (la terza dimensione - asse z - è implicitamente integrata nelle equazioni considerando un mezzo verticalmente omogeneo), non stazionario. Il sistema delle equazioni di De St. Venant è costituito dalle seguenti equazioni.

Equazione di conservazione della massa:

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = 0$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo x:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) \right] - \Omega q - fVV_x \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial x} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial y} \right) = 0 \end{aligned}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto lungo y:

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2+q^2}}{C^2 h^2} - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega p - fVV_y \\ + \frac{h}{\rho_w} \frac{\partial}{\partial y} p_a + \frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial \mathcal{S}_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \mathcal{S}_{xy}}{\partial x} \right) = 0 \end{aligned}$$

nelle quali:

$h(x,y,t)$  = profondità dell'acqua;

$\zeta(x,y,t)$  = quota del pelo libero;

$p,q(x,y,t)$  = portate unitarie nelle direzioni x e y;

$C(x,y)$  = coefficiente di scabrezza di Chezy;

$G$  = accelerazione di gravità;

$f(V)$  = fattore d'attrito del vento;

$V, V_x, V_y(x,y,t)$  = velocità del vento e componenti lungo le direzioni x e y;

$\Omega(x,y)$  = parametro di Coriolis;

$p_a(x,y,t)$  = pressione atmosferica;

$\rho_w$  = densità dell'acqua;

$x,y$  = coordinate spaziali;

$t$  = tempo;

$\tau_{xx}, \tau_{xy}, \tau_{yy}$  = componenti dello sforzo di taglio che tengono conto della turbolenza e del profilo verticale delle velocità;

$S_{xx}, S_{xy}, S_{yy}$  = componenti del radiation stress (nel caso la forzante idrodinamica derivi dall'interazione tra il moto ondoso ed il fondo).

Il termine di turbolenza è rappresentato dagli sforzi di taglio  $\tau$  che compaiono nelle equazioni di conservazione della quantità di moto lungo le direzioni x e y. La formulazione utilizzata prende in considerazione il parametro E "eddy viscosity" che è implementato secondo due modalità:

1. dipendente dal flusso locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( E \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( E \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

2. oppure dipendente dalla velocità locale:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( hE \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (\text{nella direzione } x);$$

Le due equazioni rappresentano il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto. Il coefficiente E può essere specificato come costante su tutta la griglia, variabile da punto a punto, o come funzione del campo di velocità locale secondo la formulazione di Smagorinski:

$$E = c_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 \right]$$

nella quale u e v sono le componenti della velocità locale,  $\Delta$  è la dimensione spaziale della griglia e  $c_s$  è una costante compresa tra 0,25 e 1.

In questo caso il termine di sforzo di taglio nelle equazioni di conservazione della quantità di moto (asse x) è dato da:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( hE \frac{\partial u}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{1}{2} hE \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right)$$

La portata entrante nell'area di calcolo viene assegnata come portata unitaria (m<sup>3</sup>/s/m) lungo la frontiera libera dalla quale entra il flusso: viene assegnata al modello la portata complessiva (m<sup>3</sup>/s) che viene poi ripartita automaticamente sui punti di calcolo della griglia.

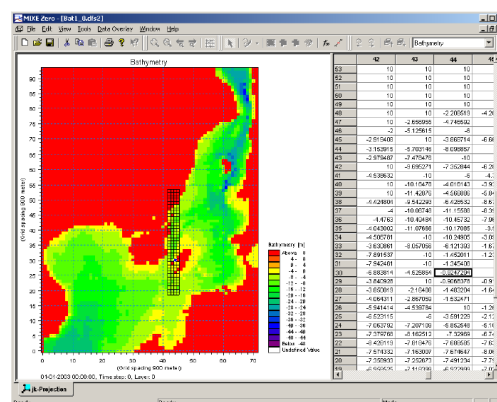
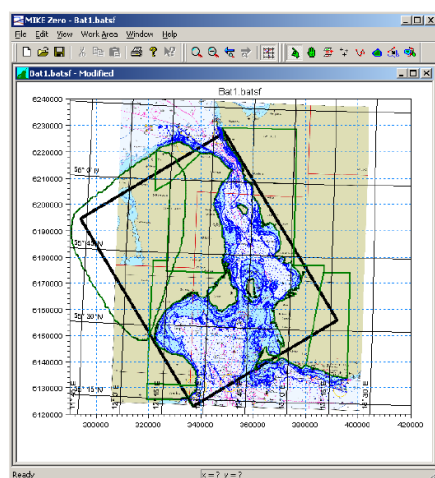
La condizione iniziale è rappresentata da una situazione di "quiete", nel senso che tutte le componenti delle forzanti sono nulle (portate, velocità, livelli) e variano poi linearmente nel tempo fino a raggiungere il valore assegnato in un tempo prefissato. Questa tecnica, detta del "soft start" consente di eliminare eventuali brusche oscillazioni iniziali della soluzione che potrebbero presentarsi per problemi di stabilità numerica. Al termine del "soft start" la situazione ottenuta è di effettiva stazionarietà.

Le equazioni di continuità del moto sono risolte con una tecnica implicita alle differenze finite su una griglia rettangolare, uniforme su tutto il dominio di calcolo, costituita da celle di dimensioni tali da poter descrivere in maniera sufficientemente corretta le variazioni plano-altimetriche della batimetria.

Il medesimo approccio della griglia singola viene utilizzato anche nella versione "griglia multipla-nested grid", che permette di innestare nel dominio di calcolo griglie a risoluzione crescente nelle aree ove sia richiesto un maggiore dettaglio.

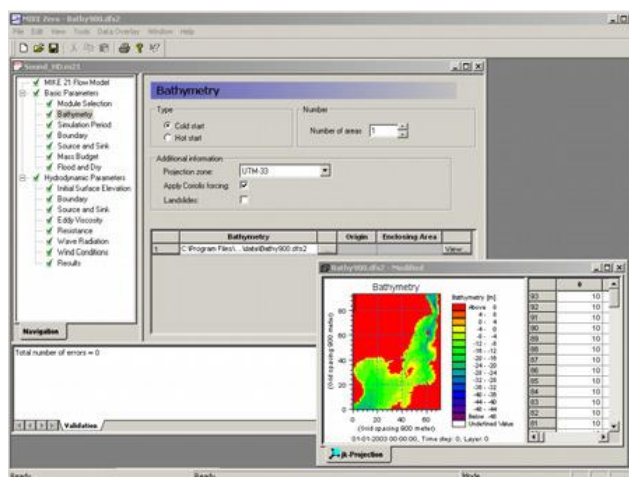
Le equazioni della conservazione della massa e della quantità di moto sono risolte alle differenze finite utilizzando il metodo ADI (Alternating Direction Implicit). Il sistema di equazioni linearizzate che scaturisce dall'algoritmo è risolto con il metodo DS (Double Sweep, Abbott, 1979).





Il modello MIKE 21 HD necessita di una serie di dati di input che si possono raggruppare in differenti categorie, ovvero:

- parametri temporali e del dominio (risoluzione della griglia di calcolo, time step, durata simulazione);
- fattori di calibrazione (bed resistance, viscosità turbolenta);
- condizioni iniziali (livelli e campi di corrente);
- condizioni al contorno (livelli, portate);
- altre forzanti (campi di vento, radiation stresses, sorgenti o pozzi).



I risultati di un'applicazione modellistica bidimensionale possono essere rappresentati con i molteplici strumenti di visualizzazione statica e dinamica a corredo dello strumento modellistico utilizzato. Gli strumenti di post processing consentono di creare animazione 2D da esportare ed utilizzare in ambiente di lavoro esterno alla piattaforma modellistica utilizzata per il calcolo numerico.

L'utilizzo di un approccio di tipo bidimensionale permette di indagare non solo l'intensità del fenomeno ma anche direzione e verso del vettore velocità in ogni cella della matrice. Ad esempio, per ognuno degli elementi della griglia, sono rappresentati le variazioni temporali delle seguenti variabili:

- profondità e livelli idrici;
- flussi di corrente nelle direzioni principali;
- velocità di corrente e direzione.

