



Finanziato  
dall'Unione europea  
NextGenerationEU



MINISTERO  
DELL'INTERNO



Italiadomani  
PIANO NAZIONALE  
DI RIPRESA E RESILIENZA



## COMUNE DI SAN MAURIZIO CANAVESE

(Città Metropolitana di Torino)

REALIZZAZIONE DI CANALI SCOLMATORI PER LA MESSA IN SICUREZZA DEL TERRITORIO TRA IL TORRENTE STURA DI LANZO ED IL TORRENTE BANNA NEI COMUNI DI CIRIÉ', SAN MAURIZIO CANAVESE E CASELLE T.SE - CUP: E43H20000080006 - I LOTTO: MESSA IN SICUREZZA DEL RETICOLO IDROGRAFICO DEL TERRITORIO POSTO TRA IL TORRENTE STURA DI LANZO ED IL TORRENTE BANNA. CANALE DI RITORNO DI CIRIÉ' - CUP: E45F22000170001



### I PROGETTISTI



AI ENGINEERING S.r.l.

Corso Ferrucci, 112 Blocco B (VI° Piano) 10138 Torino - Italy  
Tel: +39 011 58 14 511 | Fax: +39 011 56 83 482  
E-mail: posta@aigroup.it | Website: www.aigroup.it



Via Silvio Pellico, 12 10073 Cirié (TO) - Italy  
Tel - Fax: +39 011 92 12 229

E-mail: info@studioviesse.it | Website: www.studioviesse.it



Corso Duca degli Abruzzi, 10 10128 Torino (TO) - Italy  
Tel: +39 011 319 9507



Strada Dell'Eremo, 15 10074 Lanzo Torinese (TO) - Italy  
Tel: +39 0123 28108

### IL RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO

Arch. Maristella POPOLO

## PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO ELABORATO

RELAZIONE TECNICA E DI CALCOLO - IDROLOGICA E IDRAULICA

SCALA

-

FOGLIO

A4

FASE	LIVELLO 1	LIVELLO 2	TIPO DOCUMENTO	PROGRESSIVO	REV.	CODIFICA
PEXE	SMC	DS	R	001	01	PEXE_SMC_DS_R_001_01

#### AGGIORNAMENTI:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTROLLATO	APPROVATO
0	Novembre 2024	EMISSIONE	M. Demateis Raveri	P. Montaldo	J. Tarchiani
1	Dicembre 2024	REVISIONE	M. Demateis Raveri	P. Montaldo	J. Tarchiani

## Sommario

1	PREMESSA .....	1
2	DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	2
2.1	Studi pregressi .....	2
2.2	Regole e norme tecniche .....	2
2.2.1	Disciplina dei lavori pubblici.....	2
2.2.2	Norme Tecniche delle Costruzioni.....	3
2.2.3	Normative idrauliche.....	3
3	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
3.1	Descrizione dell'area di studio .....	4
3.2	Caratterizzazione geologica e idrogeologica .....	7
3.3	Principali eventi alluvionali .....	9
4	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO.....	12
5	DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO .....	14
5.1	Introduzione.....	14
5.2	Caratteristiche morfologiche dei bacini.....	14
5.2.1	Modello digitale del terreno .....	14
5.2.2	Risultati dell'analisi geomorfologica dei bacini .....	16
5.3	Trasformazione afflussi-deflussi – Metodo Razionale .....	20
5.3.1	Coefficiente di deflusso .....	20
5.3.2	Tempo di corrivazione .....	22
5.3.3	Altezze di pioggia di progetto .....	23
5.3.4	Calcolo della portata duecentennale di progetto .....	27
6	DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO INFOWORKS ICM PER LA MODELLAZIONE INTEGRATA IDROLOGICA E IDRAULICA .....	27
6.1	Introduzione.....	27
6.2	Aspetti teorici .....	27
6.2.1	Modello idrologico SCS-CN .....	28
6.2.2	Approccio numerico della componente monodimensionale .....	33
6.2.3	Equazioni di base della componente 2D .....	34
6.2.4	Considerazioni sulla connettività tra i domini 1D-2D .....	36
6.3	Assetto geometrico .....	37
6.3.1	Topografia di base .....	37
6.3.2	Dominio monodimensionale .....	38
6.3.3	Dominio bidimensionale .....	42
6.3.4	Calibrazione del modello .....	46

7	SCENARI DI CALCOLO E ANALISI DEI RISULTATI .....	47
7.1	Stato di fatto .....	47
7.1.1	Canale di ritorno di Cirié .....	49
7.1.2	Canale di ritorno del Malanghero .....	57
7.2	Individuazione degli interventi prioritari .....	68
7.3	Stato di progetto .....	71
7.3.1	Canale scolmatore di Cirié .....	73
7.3.1.1	Stralcio 2 .....	73
7.3.1.2	Stralcio 1 .....	79
7.3.1.2.1	Verifica del rigurgito in condizioni di piena del Torrente Stura di Lanzo .....	90
7.3.1.2.2	Verifica al trascinamento dei massi di cava .....	101
8	CONCLUSIONI .....	106

## 1 PREMESSA

Il Comune di San Maurizio Canavese, in virtù del Protocollo d'intesa sottoscritto in data 22/02/2021 con i Comuni di Cirié, Caselle Torinese e il Consorzio dei Comuni e degli Utenti industriali della Riva Sinistra della Stura, visti gli esiti della procedura di gara espletata dalla Centrale Unica di Committenza dell'Unione dei Comuni del Ciriace e del Basso Canavese, con Determinazione del Responsabile dell'Area Lavori Pubblici, Gestione del Patrimonio e Ambiente n°317 del 17/08/2021 ha affidato l'incarico professionale per la redazione della progettazione di fattibilità tecnico-economica, definitiva (inclusi eventuali elaborati specialistici), esecutiva (inclusi eventuali elaborati specialistici), responsabile della sicurezza in fase di progettazione, attività di supporto al R.U.P., rilievo plano-altimetrico dell'area, inerente i lavori di *“Realizzazione di canali scolmatori per la messa in sicurezza del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo ed il Torrente Banna nei Comuni di Cirié, San Maurizio Canavese e Caselle T.se”* (CUP: E43H20000080006 - CIG: 86608328A8) al Raggruppamento Temporaneo di Imprese costituito da *Ai Engineering s.r.l.* (mandataria), *Studio Viesse Ingegneri Associati* (mandante), *Genovese & Associati Società tra Professionisti s.r.l.* (mandante) e *ing. Silvio Magnetti* (mandante).

A causa dell'elevata urbanizzazione del territorio, che a partire dal secondo dopoguerra ha portato all'impermeabilizzazione dello stesso modificando in maniera rilevante il drenaggio naturale delle acque superficiali in caso di forti piogge, e dei cambiamenti climatici, che hanno comportato un incremento dei fenomeni meteorologici estremi, negli ultimi anni si sono verificate diverse tracimazioni all'interno della rete di canali esistente. Tale rete, oltre ad avere una funzione irrigua, adempie la funzione di raccolta delle acque meteoriche delle zone facenti parte dei comuni di San Maurizio Canavese, Cirié e Caselle Torinese; le esondazioni verificatesi hanno provocato danni alle abitazioni, agli stabilimenti industriali e all'Aeroporto di Torino-Caselle. Sempre a causa del cambiamento climatico in atto, diventano più frequenti ed estesi nel tempo i periodi di siccità, con prolungate carenze di disponibilità della risorsa acqua per gli usi irrigui.

Per far fronte a queste problematiche, gli interventi in progetto prevedono l'adeguamento dei canali esistenti al fine di renderli idonei a recepire le acque provenienti dalle reti bianche urbane e assolvere alla funzione scolmo delle acque di piena e la nuova realizzazione di alcuni tratti per lo scarico finale all'interno del torrente Stura di Lanzo. Tali opere hanno quindi l'obiettivo di mitigare il rischio idraulico nel territorio del Ciriace e del Basso Canavese mediante la realizzazione di un sistema di convogliamento delle acque nel torrente Stura di Lanzo mantenendo al contempo efficiente il sistema di canali secondari durante la stagione irrigua.



La presente relazione, redatta nell'ambito del Progetto Esecutivo, descrive le valutazioni idrologiche ed idrauliche effettuate per la definizione delle scelte progettuali oltre al dimensionamento delle opere riguardanti il Comune di San Maurizio Canavese.

## 2 DOCUMENTI E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

### 2.1 Studi pregressi

- Relazione finale dell'attività di ricerca nell'ambito del *Progetto STRADA 2.0 (STRategie di ADattamento ai cambiamenti climatici) – Modulo CAPPIO (CAPitalizzazione azione di Caratterizzazione delle PIOgge estreme) CUP E96G15000010007- CIG Z2513A8348* commissionata da ARPA Piemonte al Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia (CINID) e presentata dal gruppo di lavoro del Dipartimento dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino il 21 dicembre 2015;
- *Studio di sistemazione del reticolo idrografico secondario compreso tra i Torrenti Stura e Malone – 1996*, facente parte del “Programma di ricerca in tema di manutenzione e ripristino degli alvei dei corsi d'acqua, nonché in materia di protezione idrogeologica e difesa del suolo” della Provincia di Torino;
- *Analisi di Fattibilità “Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna”*, redatta dalla Provincia di Torino – Servizio Difesa del Suolo e Attività Estrattiva nel marzo 2009;
- *Progetto Preliminare generale “Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna – Lotto 2 – Realizzazione di scolmatore del canale di ritorno di Cirié per la regolazione delle acque meteoriche”*, redatto dalla Provincia di Torino – Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria – Servizio difesa del Suolo e Attività estrattiva nell'ottobre 2013.

### 2.2 Regole e norme tecniche

#### 2.2.1 Disciplina dei lavori pubblici

- Decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 "Codice dei contratti pubblici" e s.m.i.;
- D.P.R. n. 207 del 05.10.2010 e s.m.i., “Regolamento di esecuzione ed attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante «Codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE, per le parti ancora in vigore;

- D.M. n. 145 del 19.04.2000 e s.m.i., "Regolamento recante il capitolato generale d'appalto dei lavori pubblici ai sensi dell'articolo 3, comma 5, della legge 11/02/1994 n. 109 e successive modificazioni" per le parti ancora in vigore;
- Decreto ministeriale 10 novembre 2016, n. 248 "Regolamento recante individuazione delle opere per le quali sono necessari lavori o componenti di notevole contenuto tecnologico o di rilevante complessità tecnica e dei requisiti di specializzazione richiesti per la loro esecuzione, ai sensi dell'articolo 89, comma 11, del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50";
- Linee guida dell'Autorità Nazionale Anticorruzione in attuazione del d.lgs. n. 50 del 2016;
- Atti dell'Autorità Nazionale Anticorruzione (pareri, determinazioni e altri provvedimenti diversi dalle Linee guida);
- Criteri Minimi Ambientali ai sensi del Decreto del Ministro dell'Ambiente 11 aprile 2008 Approvazione del Piano d'azione per la sostenibilità ambientale dei consumi nel settore della pubblica amministrazione e atti attuativi collegati e s.m.i applicabili ai lavori in oggetto.

### 2.2.2 Norme Tecniche delle Costruzioni

- D.M. 17/01/2018, "Aggiornamento delle « Norme Tecniche per le Costruzioni »” ;
- Circolare del Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti n. 7 del 21/01/2019, "Istruzioni per l'applicazione dell'”Aggiornamento delle « Norme Tecniche per le Costruzioni »” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 ;
- D.P.R. n. 495 del 16.12.1992 "Regolamento di esecuzione del Nuovo Codice della Strada" e s.m.i.;

### 2.2.3 Normative idrauliche

- R.D. 25 luglio 1904, n. 523, "Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie” ;
- D.M. 04/04/2014, "Norme tecniche per gli attraversamenti ed i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto”;
- "Piano Assetto Idrogeologico" (PAI) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ADBPo), adottato con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 in data 11/05/1999 e relative Norme di Attuazione;
- "Piano di Gestione del Rischio Alluvioni" (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (ADBPo), adottato nella seduta di Comitato Istituzionale del 17 dicembre 2015, con deliberazione n. 4/2015, e approvato nella seduta di Comitato Istituzionale del 3 marzo 2016, con deliberazione n. 2/2016 ;
- "Piano di Tutela delle Acque" (PTA), aggiornato con D.C.R. n.179 – 18293 a seguito della D.G.R. n.8-3089 del 16 aprile 2021, attualmente in vigore.

## 3 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 3.1 Descrizione dell'area di studio

L'area oggetto di intervento ha un'estensione di circa 16 km<sup>2</sup> e ricade all'interno dei comuni di Caselle Torinese, Cirié e San Maurizio Canavese, appartenenti alla Città Metropolitana di Torino, nella Regione Piemonte. Il territorio è situato in un contesto in cui la topografia ed il deflusso idrico superficiale hanno subito, nel corso del tempo, importanti modifiche sia per le attività agricole sia per la crescente urbanizzazione. L'area è delimitata a nord dal sistema idrico Banna-Bendola e a sud dal torrente Stura di Lanzo e dal punto di vista idraulico è molto complessa. Infatti, è servita da un sistema di canali a rete interdipendente, in cui i canali principali assumono un andamento sinusoidale: nei tratti in cui si dipartono dallo Stura, svolgono il compito di apportare le acque derivate alle utenze agricole e industriali, mentre, nei tratti in avvicinamento allo Stura, intercettano le acque non utilizzate provenienti dai canali secondari e le convogliano più a valle, verso i comuni di Leini e Settimo Torinese, insieme a quelle che ricevono da una nuova derivazione dall'alveo torrentizio. Il sistema così sviluppato consente di avere sempre disponibilità di acqua per gli usi consentiti e non è dotato di scaricatori verso lo Stura di Lanzo. La rete di canali consortili, che interessa l'area di studio, comprende:

- il **canale comunale di Cirié**: dalla derivazione dal torrente Stura di Lanzo in Villanova Canavese fino al partitore delle Borche in Comune di Cirié;
- il **canale di Cirié**: dal partitore delle Borche fino all'immissione nel canale consortile di ritorno di Cirié;
- il **canale consortile di ritorno di Cirié**: dall'origine del canale comunale di Cirié fino alla confluenza nel canale comunale di Caselle;
- il **canale di San Maurizio**: dal partitore delle Borche fino alla Cascina Nuova di San Maurizio Canavese;
- il **canale di San Maurizio – ramo di San Michele**: dal partitore a monte di Villa Conte Marengo in Comune di San Maurizio Canavese fino alla restituzione nel canale di San Maurizio medesimo;
- il **canale del Malanghero**: dalla derivazione in Comune di Nole a valle della località San Vito fino alla ripartizione di Cascina Nuova in San Maurizio C.se;
- il **canale di ritorno del Malanghero**: dalla camera di ripartizione di Cascina Nuova in S. Maurizio C.se fino alla confluenza nel canale di Caselle;
- il **canale di Caselle**: dalla presa dalla Stura in Regione Pich di Cirié fino al partitore in Comune di San Maurizio Canavese;
- il **canale di Caselle – ramo dei Molini**: dal partitore in Comune di San Maurizio C.se fino all'origine del canale Goretta;
- il **canale Sinibaldi/Caudano**: dal partitore in Comune di San Maurizio C.se fino alla confluenza nel canale di Borgaro;



- la **bealera Sturetta**, alimentata dal canale di Caselle a monte del partitore in Comune di San Maurizio C.se.



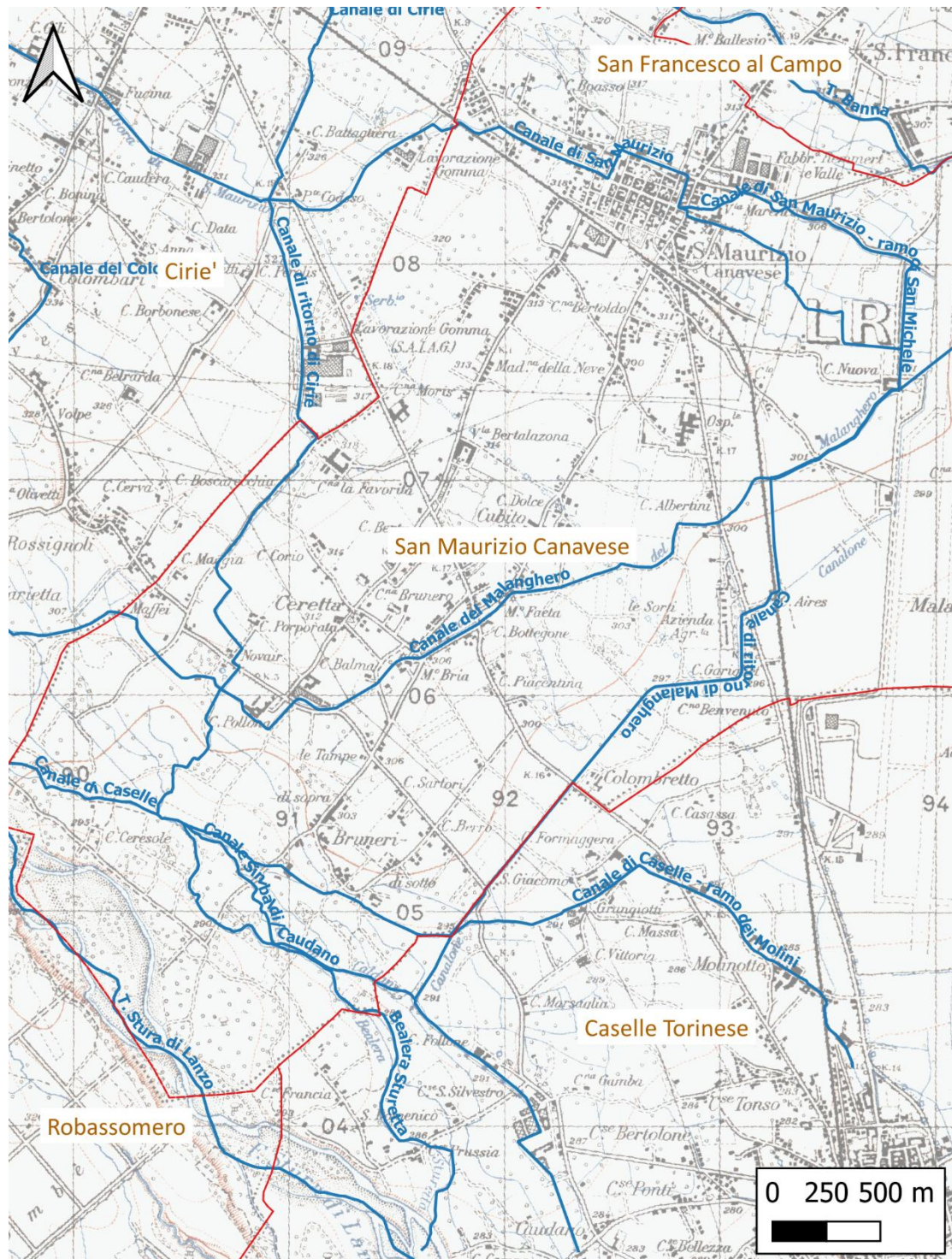


Figura 3.1 – Inquadramento dell'area di studio su carta IGM 1:25.000



### 3.2 Caratterizzazione geologica e idrogeologica

Dal punto di vista geologico, secondo quanto indicato nel Foglio n°56 “Torino” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000 (vedi stralcio nella figura sottostante), l’area di studio è caratterizzata dalla presenza di depositi ghiaioso-sabbiosi perlopiù terrazzati, con una discreta matrice limosa di alterazione, mentre in superficie è presente uno strato pedogenizzato dello spessore di qualche metro.

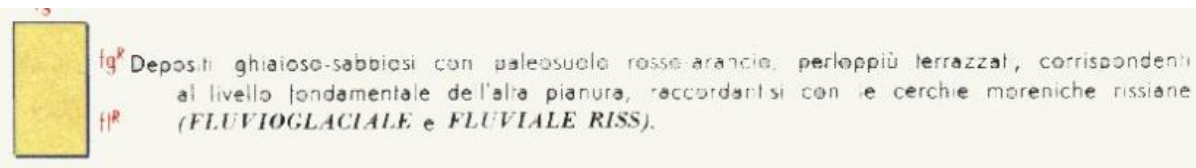
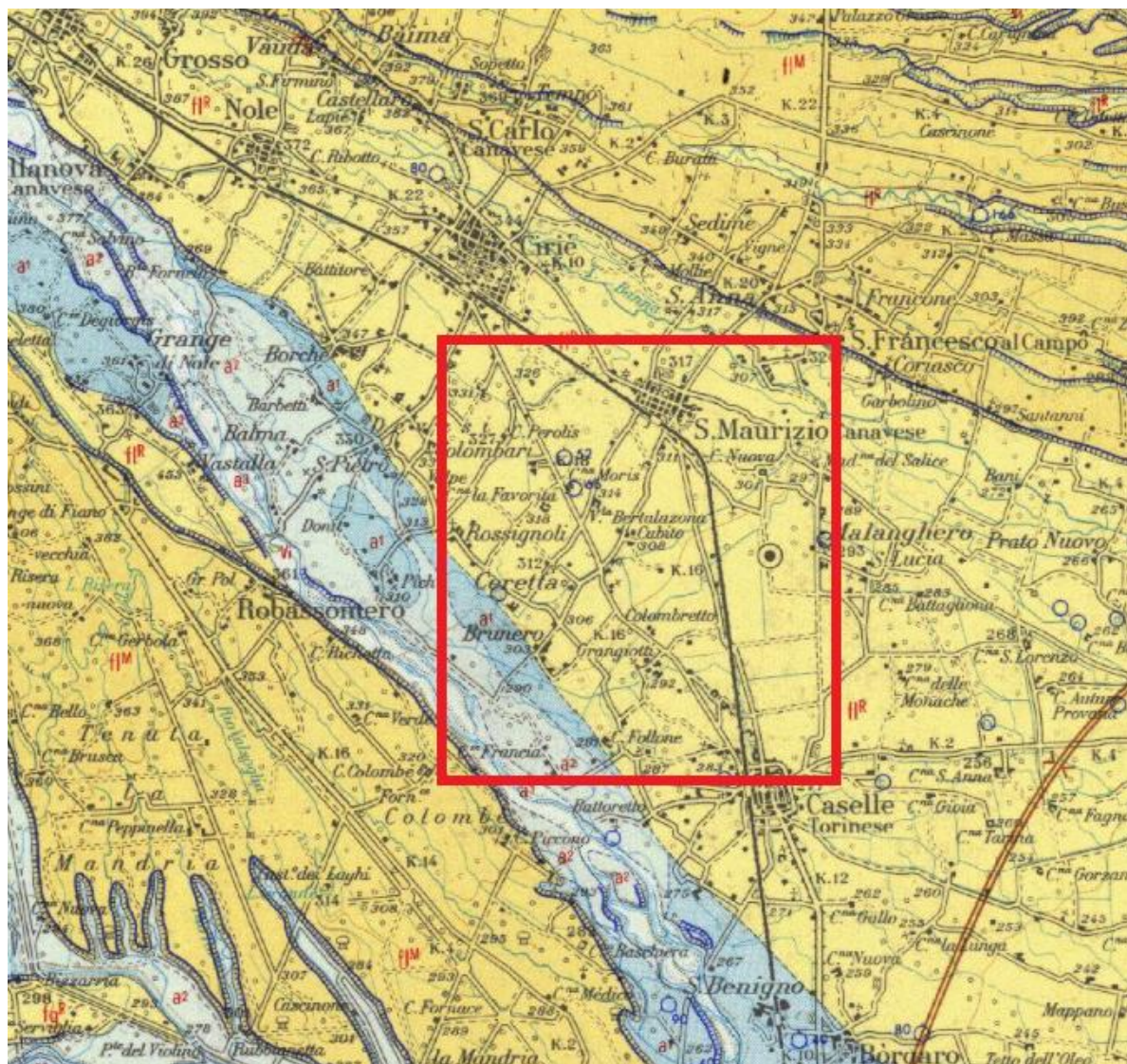


Figura 3.2 – Stralcio del Foglio n°56 “Torino” della Carta geologica d’Italia alla scala 1:100.000 (immagine non in scala). In rosso è evidenziata l’area di interesse

Dal punto di vista idrogeologico, questi depositi ospitano una falda generalmente a superficie libera, localmente protetta, drenata dai corsi d'acqua principali. L'andamento di questo acquifero, contraddistinto da una permeabilità per porosità, è diretto da Nord-Ovest verso Sud-Est con un gradiente piuttosto elevato. In base ai dati cartografici sull'idrogeologia nella pianura piemontese (scala 1:250.000) disponibili nel portale WebGIS di ARPA Piemonte, il livello della tavola d'acqua della falda superficiale si trova tra 0 e 5 m dal piano campagna nell'area di studio. Tenendo conto delle oscillazioni della falda freatica, molto intense nei periodi irrigui o fortemente piovosi, è possibile rinvenire la presenza di acque sotterranee in prossimità al piano campagna.

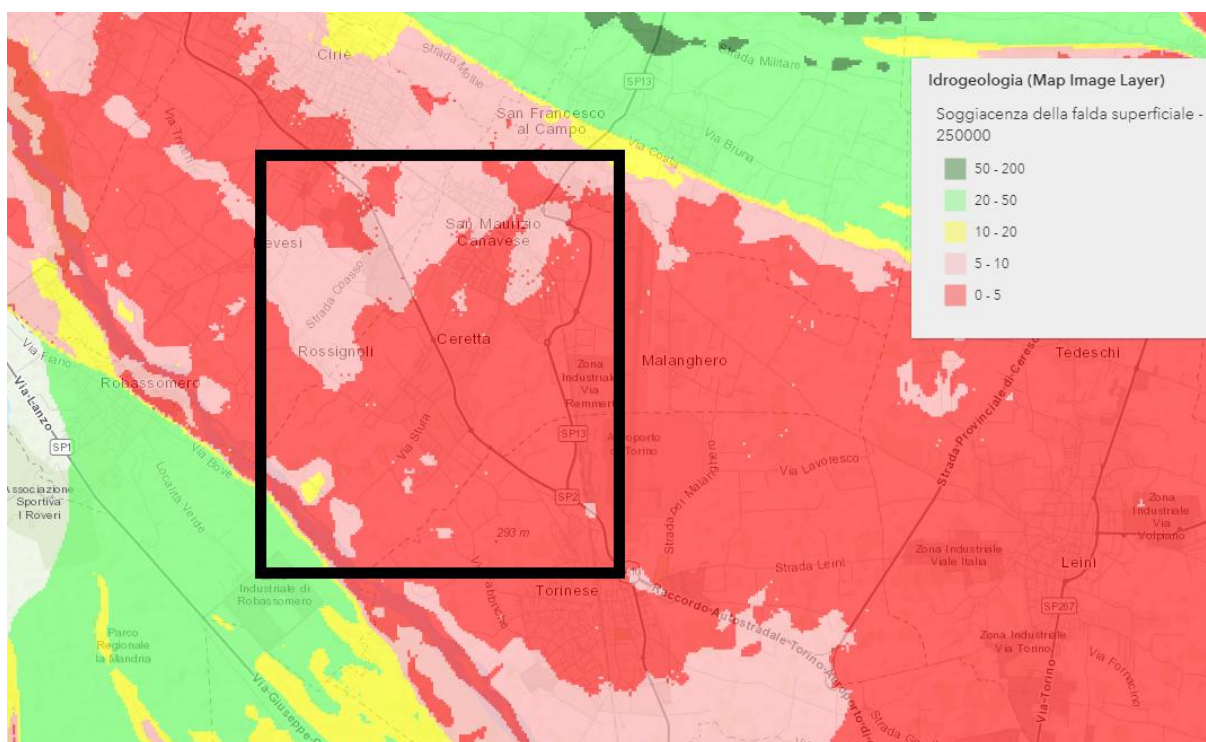


Figura 3.3 – Stralcio della carta della soggiacenza della pianura piemontese alla scala 1:250.000 (immagine non in scala). In nero è evidenziata la regione di interesse



### 3.3 Principali eventi alluvionali

La ricerca storica riveste una particolare importanza nella valutazione preliminare del quadro dei dissesti di un territorio e, specificamente nel nostro caso, delle aree pianeggianti poste in sinistra idrografica del torrente Stura di Lanzo tra i comuni di Cirié e Settimo Torinese. Le informazioni riguardanti i principali eventi alluvionali sono state ricavate dalla Banca Dati Eventi del Piemonte, accessibile tramite il portale web di ARPA Piemonte, e dai dati della Provincia di Torino.

Dall'analisi è emerso che, in assenza della pesante urbanizzazione che ha caratterizzato il territorio esaminato nel secondo dopoguerra, anche in caso di forti piogge non si riscontravano particolari criticità. Infatti, quando il sistema giungeva a saturazione, i canali esondavano nei prati e nei campi senza creare gravi danni. Invece, con l'edificazione di una parte rilevante del suolo, che è stata, quindi, impermeabilizzata, e con la costruzione di nuove vie di comunicazione, che hanno modificato il deflusso idrico superficiale, in presenza di piogge prolungate e intense le acque in eccesso al sistema straripano e allagano anche i centri urbani e le infrastrutture stradali.

Durante l'alluvione del 1994, la presenza di numerosi corsi d'acqua e di canali irrigui, molto spesso di dimensioni modeste, ha causato inondazioni a vaste zone agricole e centri abitati nella zona del Canavese. Le cascine isolate sono state numerosissime e anche alcuni centri abitati come Caselle Torinese, Cirié e Leini sono rimasti parzialmente isolati.

Nell'ottobre 2000, il passaggio della piena del torrente Stura di Lanzo ha provocato il crollo del ponte della strada provinciale Robassomero-Cirié e una forte erosione spondale in sinistra idrografica in località Case Francia, al confine tra i comuni di San Maurizio C.se e Caselle T.se, con coinvolgimento di strade comunali e potenziale rischio per le abitazioni. Inoltre, sono stati registrati allagamenti in diversi settori del territorio comunale di Caselle, con conseguente interruzione della circolazione.

Tuttavia, l'evento che ha sollecitato maggiormente la rete di canali irrigui presente nell'area di studio si è verificato il 13 settembre 2008. Tale evento è stato provocato dalla presenza di una serie di celle temporalesche rigeneranti, concentrate in una zona ristretta a nord-ovest di Torino, tra Caselle Torinese, San Maurizio Canavese e Cirié, che hanno scaricato quantità di pioggia eccezionali tra le ore 14 e le ore 20 circa. La massima precipitazione rilevata dalla stazione pluviometrica ARPA Piemonte installata all'aeroporto di Torino-Caselle è di 273 mm nelle 24 ore, di cui 75,8 mm in 1 ora, 148 mm in 3 ore e 233 mm in 6 ore. Questi valori sono i massimi registrati a Caselle dall'inizio delle misurazioni pluviometriche nel 1955. Il periodo di ritorno di quest'evento, sia secondo la regolarizzazione della serie di piogge intense con il metodo di Gumbel che con il metodo GEV, è superiore a 200 anni.

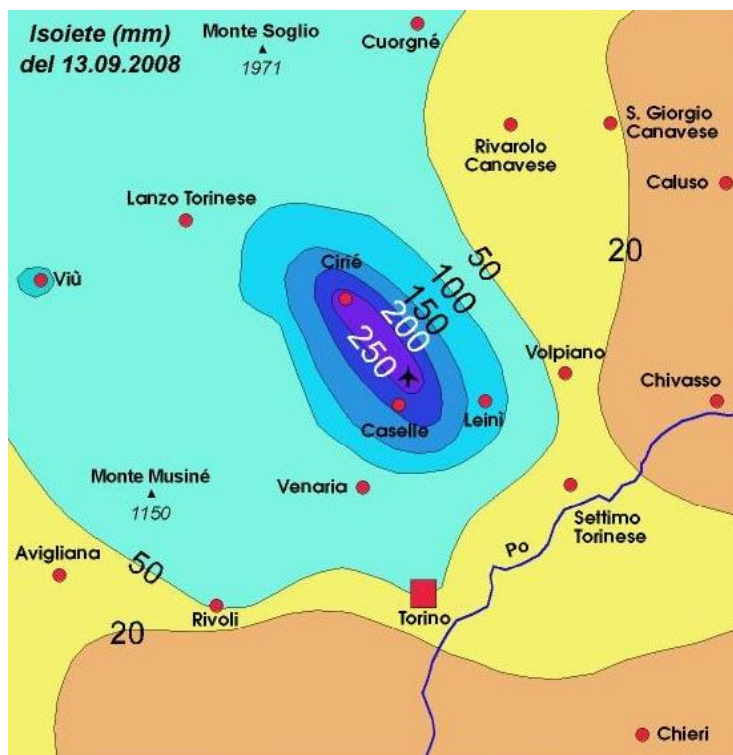


Figura 3.4 – Carta delle isoiete (precipitazione in mm) del giorno 13/09/2008 sul Torinese. Si può osservare la concentrazione delle precipitazioni più intense nell'area compresa tra i comuni di Cirié, San Maurizio Canavese e Caselle [Fonte: Nimbus]



Figura 3.5 – Serie delle precipitazioni massime giornaliere rilevate dal pluviometro dell'aeroporto di Torino-Caselle dal 1955 al 2008 [Fonte: Nimbus]

L'enorme quantità di acqua caduta al suolo ha provocato lo straripamento del torrente Banna-Bendola tra Cirié e Settimo Torinese e il collasso della rete di drenaggio superficiale. I territori comunali di Cirié, San Maurizio Canavese, Caselle Torinese, Leini e Settimo Torinese sono stati interessati da estese inondazioni, con battenti d'acqua che

hanno raggiunto anche valori massimi prossimi al metro, che hanno provocato numerosi danni ad abitazioni, attività commerciali e industriali e alla rete stradale. Le esondazioni del torrente Banna e dei canali irrigui nel comune di San Maurizio Canavese hanno, inoltre, coinvolto la pista dell'Aeroporto Internazionale "Sandro Pertini", causando la cancellazione e il dirottamento di numerosi voli su scali alternativi.



Figura 3.6 – Sequenza di immagini riprese tra le 18.30 e le 19 di sabato 13/08/2008 a Caselle Torinese durante la fase finale del nubifragio



## 4 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Dopo aver attentamente esaminato la fitta rete di canalizzazioni e gli effetti dei principali eventi alluvionali sul territorio studiato, sono state formulate diverse possibili soluzioni per la diminuzione del rischio idraulico basate sui seguenti principi:

1. riduzione e/o azzeramento delle portate irrigue durante gli eventi di precipitazione intensa, attraverso la chiusura delle paratoie di derivazione esistenti dal torrente Stura di Lanzo. Questa operazione è attualmente effettuata da remoto dal Consorzio Irriguo gestore della rete;
2. realizzazione di scaricatori in Stura che consentano di smaltire le acque in eccedenza presenti all'interno del reticolo di canali, evitando che esse raggiungano le aree di pertinenza dell'Aeroporto internazionale di Torino-Caselle e zone a valle, fortemente urbanizzate, appartenenti ai comuni di Caselle T.se, Leini, Brandizzo e Settimo T.se, come già avvenuto durante l'evento alluvionale del settembre 2008;
3. utilizzo dei tratti degli alvei dei canali di ritorno esistenti come canali scolmatori, previa risagomatura e riprofilatura.

**Le idee alla base del presente lavoro riprendono e confermano le ipotesi progettuali già presentate negli studi precedenti sottoelencati:**

- “Studio di sistemazione del reticolo idrografico secondario compreso tra i Torrenti Stura e Malone – 1996”, facente parte del “Programma di ricerca in tema di manutenzione e ripristino degli alvei dei corsi d'acqua, nonché in materia di protezione idrogeologica e difesa del suolo” della Provincia di Torino;
- l'Analisi di Fattibilità “Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna” redatta dalla Provincia di Torino – Servizio Difesa del Suolo e Attività Estrattiva nel marzo 2009;
- il Progetto Preliminare generale “Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna – Lotto 2 – Realizzazione di scolmatore del canale di ritorno di Cirié per la regolazione delle acque meteoriche” redatto dalla Provincia di Torino – Area Risorse Idriche e Qualità dell'Aria – Servizio difesa del Suolo e Attività estrattiva nell'ottobre 2013.

**Il presente progetto prevede la realizzazione di uno scaricatore in Stura nei pressi del depuratore di San Maurizio C.se e l'adeguamento del canale di ritorno di Cirié affinché esso possa svolgere la funzione di canale scolmatore di piena della gora di San Maurizio, della gora del Malanghero e del canale di Caselle, mitigando il rischio idraulico negli abitati di San Maurizio Canavese, Ceretta (frazione di S. Maurizio C.se) e Caselle.**



Figura 4.1 – Canale scolmatore di Cirié (a sinistra) in progetto e canale scolmatore del Malanghero (a destra) non in progetto

## 5 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO

### 5.1 Introduzione

Per il dimensionamento e la verifica della compatibilità idraulica degli interventi proposti per la mitigazione del rischio idraulico, è necessario definire le portate di riferimento da smaltire in Stura per ciascun canale scolmatore. Per tale scopo, è stato, quindi, revisionato lo studio idrologico contenuto nell'Analisi di Fattibilità "Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna", utilizzando dei dati pluviometrici aggiornati e il modello digitale del terreno acquisito tramite Laser Scanner aviotrasportato nel mese di febbraio 2022.

La portata di piena utilizzata per i calcoli idraulici è stata stimata in maniera indiretta sulla base di valutazioni di tipo idrologico. Mancando, infatti, misurazioni dirette degli idrogrammi di piena, secondo la normale pratica ingegneristica, il calcolo della portata duecentennale di riferimento è stato eseguito sulla base di trasformazioni "afflussi - deflussi" che legano direttamente il valore del picco di piena alla precipitazione di durata  $t$  e periodo di ritorno  $T$ .

Si suole chiamare periodo di ritorno  $T$  del massimo valore  $x$  il numero di anni  $T$  in cui, mediamente,  $x$  è superato una sola volta. Nel caso specifico, il periodo di ritorno  $T$  dell'evento di piena rappresenta il numero di anni in cui, mediamente, tale evento di piena viene superato od uguagliato una sola volta.

Per il calcolo di tale portata, si è proceduto per passaggi successivi:

1. individuazione delle caratteristiche morfologiche dei bacini scolanti;
2. individuazione del coefficiente di deflusso;
3. definizione del tempo di corrivazione per i bacini in esame;
4. valutazione delle curve di possibilità pluviometrica mediante metodi di regionalizzazione delle precipitazioni intense;
5. correlazione delle precipitazioni con i valori di portata di piena per il periodo di ritorno di riferimento secondo il metodo razionale.

In questo modo, è stato possibile definire gli apporti dei bacini scolanti per ogni tratto di interesse e procedere con il dimensionamento dei canali scolmatori.

### 5.2 Caratteristiche morfologiche dei bacini

#### 5.2.1 Modello digitale del terreno

Al fine di valutare i parametri morfologici dei bacini idrografici e, successivamente, di allestire il modello matematico per le verifiche idrauliche delle opere in progetto, sono stati utilizzati i dati ottenuti dal **DTM a 1 m** acquisito, tramite sensore Li.D.A.R. aviotrasportato, su un'area di circa 33 km<sup>2</sup> compresa tra l'abitato di Nole e l'aeroporto di



Torino-Caselle. Il modello digitale del terreno è fornito nel sistema di riferimento UTM\_WGS84\_FUSO\_32 nella realizzazione ETRF2000 in quote sia ellissoidiche che ortometriche.

Le specifiche della ripresa Li.D.A.R. sono le seguenti:

- Data del volo: Febbraio 2022;
- Densità dei punti: 4/mq;
- Numero di misure effettuate nell'unità di tempo: 600Khz;
- Angolo di scansione: +/- 36°;
- Quota di volo: 1.600 m relativi.

Nella figura successiva è riportato uno stralcio planimetrico del DTM utilizzato per le valutazioni idrologiche e le simulazioni idrauliche.

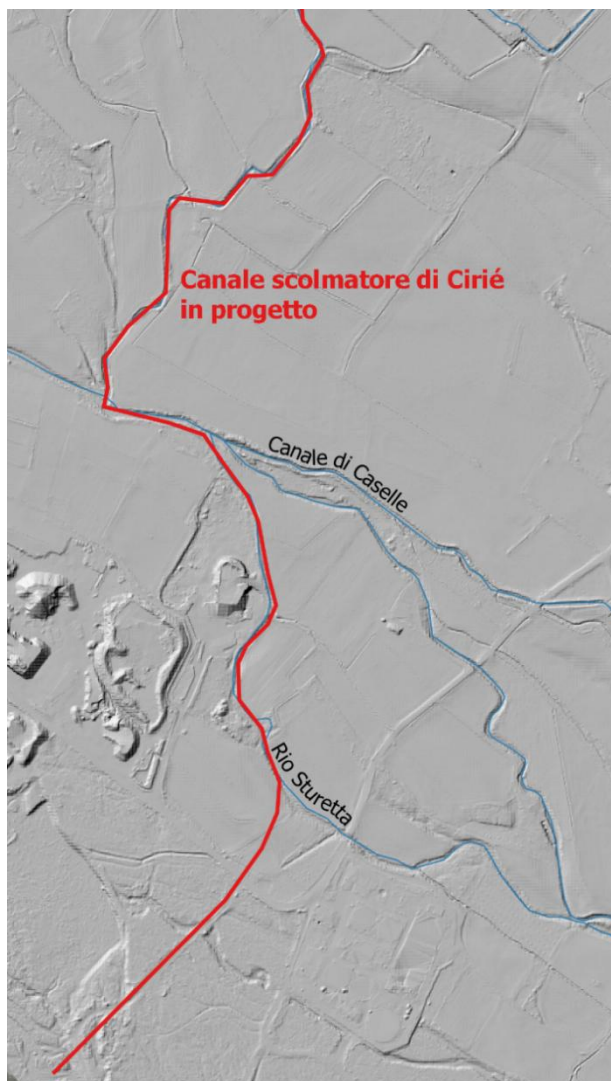


Figura 5.1 – Stralcio planimetrico del DTM utilizzato per la definizione dei parametri morfologici dei bacini e la modellazione idraulica

## 5.2.2 Risultati dell'analisi geomorfologica dei bacini

Il presente paragrafo raccoglie gli esiti dell'analisi geomorfologica dei bacini ricadenti nell'area di studio. Tale analisi è stata effettuata mediante procedure automatiche in QGIS ed è stata, infine, confrontata con i risultati dello studio idrologico condotto nell'*Analisi di Fattibilità* posta a base gara al fine di verificarne la rispondenza.

Il bacino scolante nel canale di ritorno di Cirié ha un'estensione complessiva di 14,33 km<sup>2</sup> e, nell'ottica di ricostruire un modello idrologico aderente alle condizioni esistenti, è stato suddiviso in 2 sottobacini in funzione delle gore incrociate dal suddetto canale di ritorno.

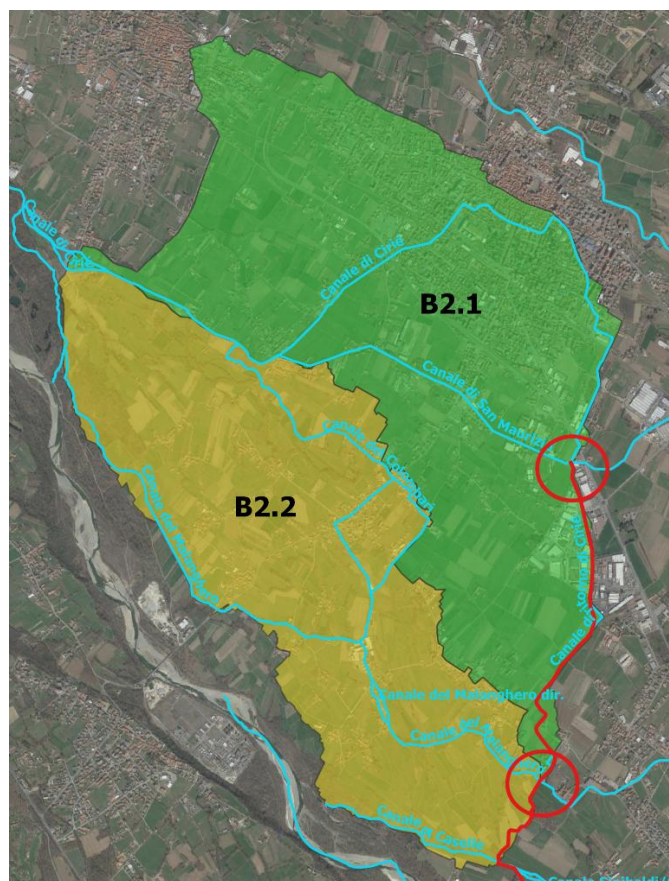


Figura 5.2 – Perimetrazione dei bacini scolanti nel canale di ritorno di Cirié

Come si può osservare nella figura sottostante, la delimitazione dei bacini è pressoché identica a quella presente nell'*Analisi di Fattibilità* redatta dalla Provincia di Torino nel 2009.



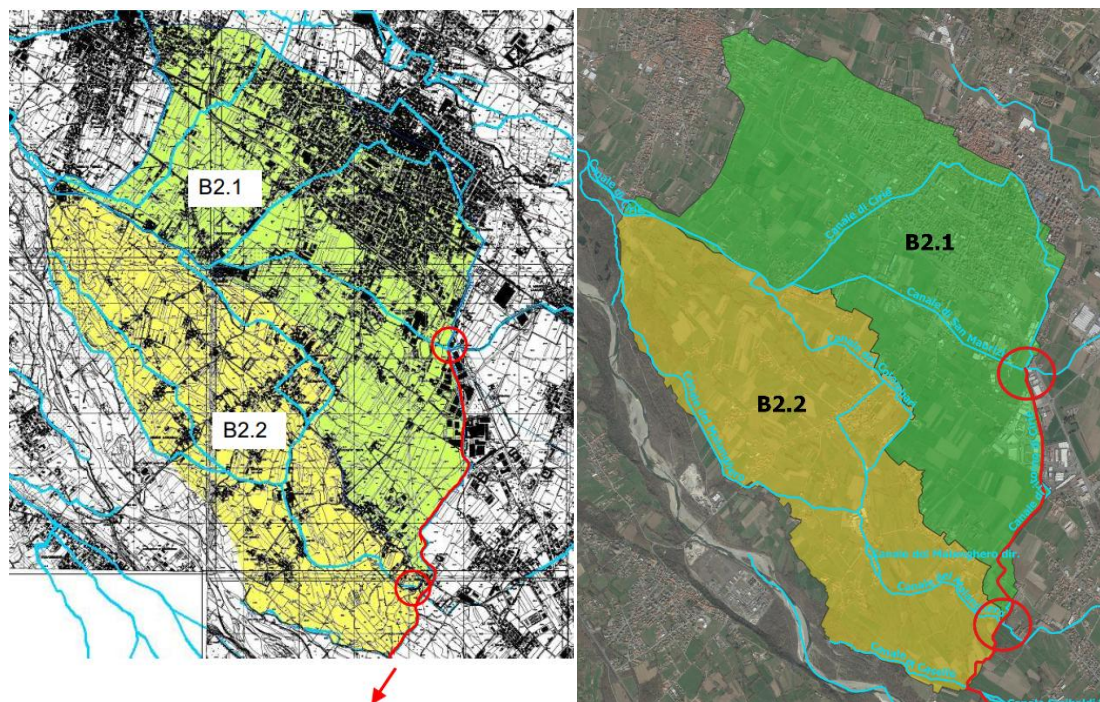


Figura 5.3 – Confronto tra la delimitazione dei bacini effettuata nell'Analisi di Fattibilità (2009) (a sinistra) e quella risultante dal presente studio (a destra) per la valutazione degli apporti nel canale di ritorno di Cirié

Invece, il bacino drenato dal canale di ritorno del Malanghero si estende complessivamente per 9,23 km<sup>2</sup> e anch'esso, ai fini della modellazione idrologica e idraulica, è stato suddiviso in 2 sottobacini in maniera simile a quanto esposto precedentemente.

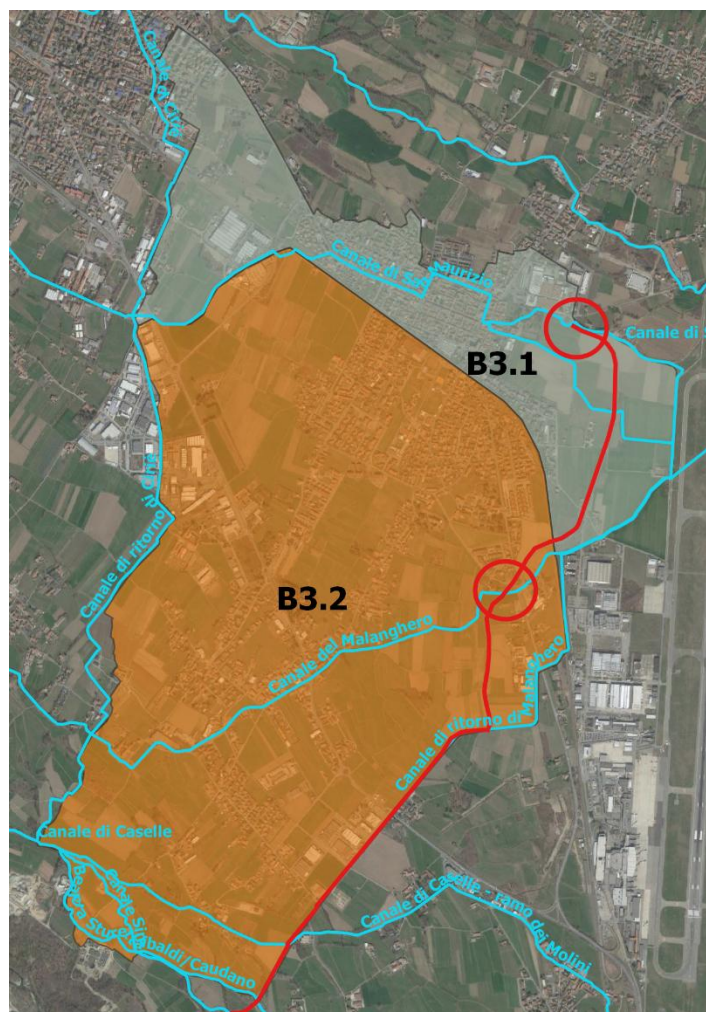


Figura 5.4 – Perimetrazione dei bacini drenati dal canale di ritorno del Malanghero

Nella figura seguente è possibile osservare come la perimetrazione del bacino B3.1 differisce parzialmente rispetto a quella dell'*Analisi di Fattibilità* perché, sulla base del rilievo plano-altimetrico commissionato, parte delle aree risultano drenate dal torrente Banna-Bendola. Invece, la delimitazione del bacino B3.2 è confermata.



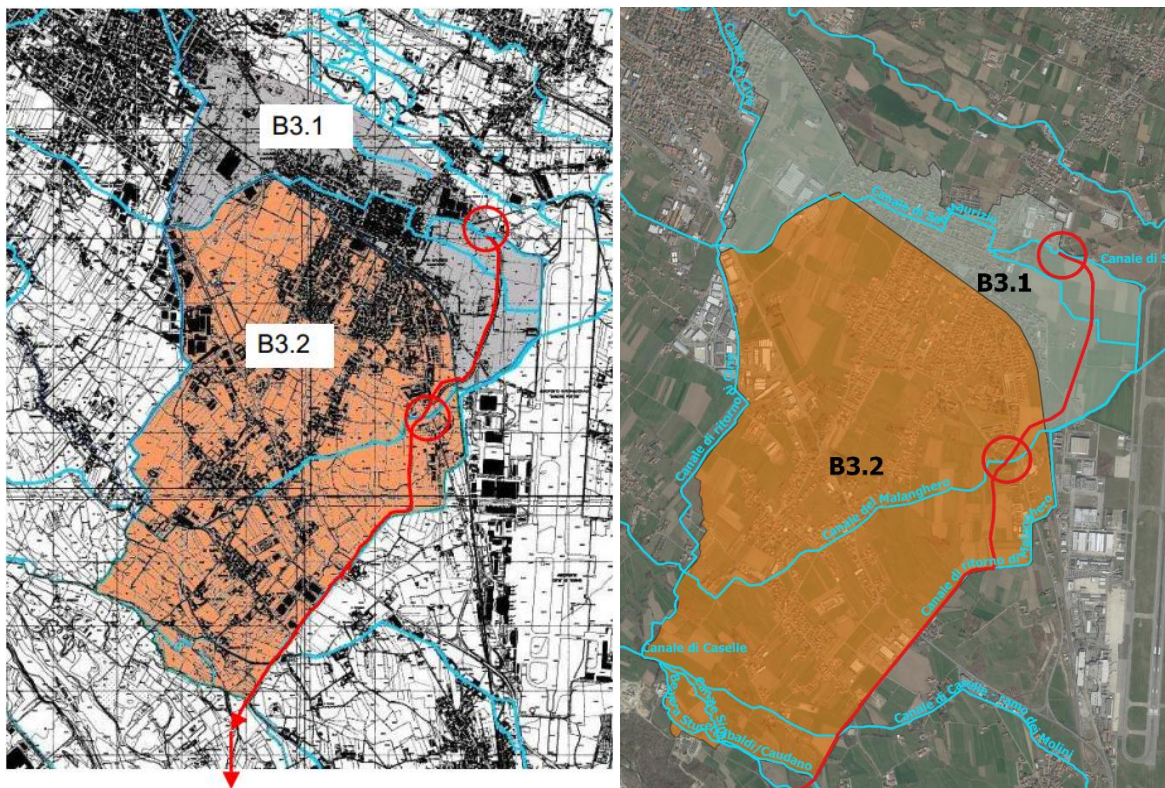


Figura 5.5 – Confronto tra la delimitazione dei bacini effettuata nell'Analisi di Fattibilità (2009) (a sinistra) e quella risultante dal presente studio (a destra) per la valutazione degli apporti nel canale di ritorno del Malanghero

Sfruttando le potenzialità offerte dagli algoritmi di elaborazione del dato raster implementate in QGIS, a partire dal modello digitale del terreno, è stato possibile ricalcolare e aggiornare i parametri morfologici, caratteristici di ogni sottobacino individuato, da impiegare per le successive modellazioni idrologiche e idrauliche.

Tabella 1 – Parametri morfologici dei bacini ricadenti nell'area di studio

NOME BACINO		Area [km <sup>2</sup> ]	Hmax [m]	Hmin [m]	Hmed [m]	Pendenza media bacino [%]	L asta principale [km]	Pendenza media asta [%]
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	8.04	371.98	310.53	342.88	2.45	7.4	0.6
	B2.2	6.29	361.38	300.28	330.23	2.60	6.0	0.8
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	2.25	338.45	301.1	317.9	2.50	5.0	0.5
	B3.2	6.98	333.2	290.58	308.99	2.42	2.8	0.2

## 5.3 Trasformazione afflussi-deflussi – Metodo Razionale

In maniera analoga a quanto illustrato nell'*Analisi di Fattibilità*, per la stima delle portate massime di progetto è stato utilizzato il metodo della formula razionale, orientato alla determinazione della portata di progetto duecentennale in corrispondenza di qualsiasi sezione dei canali. Tale valore dipende dalla precipitazione di riferimento, dall'estensione del bacino e dalle caratteristiche idrauliche delle gore.

La formula razionale esprime infatti la convinzione intuitiva che la massima portata defluente dalla sezione di sbocco del bacino sia una parte della pioggia caduta su tutta l'area del bacino in un certo intervallo di tempo. Alla base di tale metodologia vi è l'assunzione di una pioggia costante nel tempo ed uniforme nello spazio avente una durata  $t_p$  detta "tempo di pioggia" pari ad un valore critico per il bacino, ovvero il suo tempo di corrivazione  $t_c$ .

$$t_p = t_c \quad (1)$$

L'espressione analitica per la valutazione della portata di piena assume la seguente forma:

$$Q = \frac{\phi \cdot S \cdot h_c}{t_c^{3,6}} [m^3/s] \quad (2)$$

in cui:

- $S$  rappresenta la superficie del bacino espressa in  $km^2$ ;
- $h_c$  individua l'altezza di pioggia determinata dalla curva di possibilità pluviometrica per una durata pari al tempo di corrivazione  $t_c$ ;
- $\phi$ , di valore adimensionale, è il coefficiente di deflusso che tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino;
- il valore 3,6 rappresenta un fattore di omogeneizzazione delle unità di misura tale da restituire un valore di portata  $Q$  in  $m^3/s$ .

### 5.3.1 Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso  $\phi$  tiene conto della riduzione dell'afflusso meteorico per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino. Il suo valore è generalmente compreso da 0 a 1 come sintetizzato nella tabella sottostante.

Tabella 2 – Valori indicativi di coefficiente di deflusso per diversi tipi di superficie

Tipologia superficie	$\varphi$
Verde su suolo profondo, prati, orti, superfici agricole	0,10-0,15
Terreno incolto, sterrato non compattato	0,20-0,30
Superfici in ghiaia sciolta – parcheggi drenanti	0,30-0,50
Pavimentazioni in macadam	0,35-0,50
Superfici sterrate compatte	0,50-0,60
Coperture tetti	0,85-1,00
Pavimentazioni in asfalto o cls	0,85-1,00

Sulla base dei valori riportati in **Tabella 2**, è stato assunto  $\varphi = 0,20$  per le superfici agricole, incolte o adibite a verde e  $\varphi = 0,70$  per le aree urbanizzate. Dopodiché, è stato possibile calcolare il coefficiente di deflusso appropriato per ciascun sottobacino mediante la relazione

$$\varphi_{tot} = \frac{(\varphi_{agr} \cdot S_{agr} + \varphi_{urb} \cdot S_{urb})}{S_{tot}}, \quad (3)$$

in cui:

- $\varphi_{agr}$  = coefficiente di deflusso per le aree agricole;
- $\varphi_{urb}$  = coefficiente di deflusso per le aree urbanizzate;
- $S_{agr}$  = superficie agricola;
- $S_{urb}$  = superficie urbanizzata;
- $S_{tot}$  = superficie totale del bacino.

I coefficienti di deflusso adottati per i singoli bacini sono contenuti nella tabella sottostante.

Tabella 3 – Coefficienti di deflusso adottati per i singoli sottobacini

NOME BACINO		Superficie bacino $S_{tot}$ [km <sup>2</sup> ]	Superficie agricola, a verde $S_{agr}$ [km <sup>2</sup> ]	Superficie urbanizzata $S_{urb}$ [km <sup>2</sup> ]	Coeff. deflusso aree agricole $\varphi_{agr}$	Coeff. deflusso aree urbanizzate $\varphi_{urb}$	Coeff. deflusso totale $\varphi_{tot}$
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	8.04	4.10	3.94	0.2	0.7	0.45
	B2.2	6.29	1.40	4.89	0.2	0.7	0.31
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	2.25	0.84	1.41	0.2	0.7	0.39
	B3.2	6.98	2.67	4.31	0.2	0.7	0.39



### 5.3.2 Tempo di corrivazione

La determinazione del tempo di corrivazione del bacino, definito come il tempo che mediamente intercorre tra la caduta della goccia di pioggia al suolo nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura ed il raggiungimento della sezione di chiusura da parte della stessa, risulta necessaria per l'individuazione del tempo di pioggia nella valutazione delle altezze di precipitazione relative ad eventi con differenti tempi di ritorno (curve di possibilità climatica pluviometrica).

La valutazione di tale parametro, costituisce uno dei problemi aperti nel campo idrologico-idraulico: in letteratura, a seconda del campo di applicazione ovvero dell'estensione del bacino, esistono, infatti, numerose formulazioni che consentono di ottenere una stima del tempo di corrivazione a partire dai valori delle caratteristiche morfologiche dei bacini.

Per il caso in esame, data l'estensione areale e le caratteristiche morfologiche dei bacini analizzati, si è scelto l'utilizzo delle seguenti relazioni:

- **Formula di Pasini**

$$t_c = \frac{0.108 \cdot (S \cdot L)^{1/3}}{i^{1/2}} \quad (4)$$

dove:

- S = superficie del bacino [km<sup>2</sup>]
- L = lunghezza dell'asta [km]
- i = pendenza media dell'alveo [m/m]

- **Formula di Ventura**

$$t_c = 0,1272 \left( \sqrt{\frac{S}{i}} \right) \quad (5)$$

dove:

- S = superficie del bacino [km<sup>2</sup>]
- i = pendenza media dell'alveo [m/m]

- **Formula di Pezzoli**

$$t_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i}} \quad (6)$$

dove:

- L = lunghezza dell'asta [m]
- i = pendenza media dell'alveo [m/m]

Per ogni bacino sono stati applicati i diversi metodi sopra elencati, mediando i risultati ottenuti. Si riportano, quindi, i valori di  $t_c$  ottenuti nella tabella sottostante.

Tabella 4 – Calcolo dei tempi di corrivazione per i bacini analizzati

NOME BACINO		Area [km <sup>2</sup> ]	L asta [m]	Pend. Media asta [-]	PASINI Tc [h]	VENTURA Tc [h]	PEZZOLI Tc [h]	Tc medio [h]
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	8.04	7.4	0.006	5.44	4.66	5.25	5.12
	B2.2	6.29	6.0	0.008	4.05	3.57	3.69	3.77
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	2.25	5.0	0.005	3.42	2.70	3.89	3.34
	B3.2	6.98	2.8	0.002	6.50	7.51	3.44	5.82

### 5.3.3 Altezze di pioggia di progetto

La caratterizzazione del regime pluviometrico dei bacini di interesse per il tempo di ritorno di progetto (200 anni), presuppone la conoscenza di una curva di probabilità pluviometrica (C.P.P.), che esprime il legame intercorrente tra la durata di precipitazione e l'altezza di precipitazione caduta al suolo.

Le curve di possibilità pluviometrica sono espresse normalmente secondo la legge monomia:

$$h(t) = a \cdot t^n \quad (7)$$

in cui l'altezza cumulata di precipitazione  $h$  (mm) di durata  $t$  (h) dipende da un coefficiente  $a$  e da un esponente  $n$ .

L'intensità di precipitazione istantanea  $i$  (mm/h) è valutata derivando rispetto al tempo la curva di possibilità pluviometrica, ottenendo la relazione:

$$i(t) = \frac{d}{dt} (a \cdot t^n) \quad (8)$$

mentre l'intensità media di pioggia risulta:

$$i(t)_m = a \cdot t^{n-1} \quad (9)$$

I due parametri  $a$  ed  $n$  che identificano la curva risultano caratteristici dell'area in esame e del periodo di ritorno in considerazione.

La determinazione di questi parametri, e quindi delle altezze di pioggia di progetto, è stata effettuata facendo ricorso a dati pluviometrici che siano il più possibilmente aggiornati. Per tale motivo, è stato utilizzato l' "Atlante delle piogge intense in Piemonte", risultante dalle attività di ricerca commissionate da ARPA Piemonte al CINID (Consorzio Interuniversitario per l'Idrologia) tra il 2011 e il 2015 nell'ambito del Progetto STRADA 2.0 (STRategie di ADattamento ai cambiamenti climatici), Modulo CAPPIO (CAPitalizzazione

azione di Caratterizzazione delle PIOgge estreme) – CUP E96G15000010007- CIG Z2513A8348.

Questo strumento, accessibile attraverso il portale GIS di ARPA Piemonte ([http://webgis.arpa.piemonte.it/atlante\\_pioggia\\_webapp/](http://webgis.arpa.piemonte.it/atlante_pioggia_webapp/)), consente di ricavare in un qualsiasi punto del territorio piemontese le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per le durate da 1 a 24 ore, che sono di fondamentale importanza nella progettazione idraulica e nella valutazione probabilistica delle portate di piena. Queste curve di possibilità pluviometrica sono state ricavate mediante l'applicazione del metodo "Patched Kriging", che è una metodologia di analisi delle precipitazioni estreme su scala regionale. Essa consiste nell'applicazione sequenziale delle equazioni del kriging ordinario, metodo di interpolazione spaziale che consente di discretizzare il dominio di studio attraverso una griglia a maglia regolare e di stimare, per ogni punto, il valore di una variabile e la varianza di stima ad esso associata. Questa tecnica di interpolazione è applicata, per ciascun anno, alla totalità delle stazioni pluviometriche per cui sono disponibili delle osservazioni, indipendentemente dalla lunghezza delle serie storiche ad esse collegate, in modo da utilizzare tutta l'informazione disponibile. Conseguentemente, è stato possibile descrivere l'andamento delle piogge estreme mediante la ricostruzione delle serie storiche sia nei punti strumentati con osservazioni incomplete che in quelli privi di misurazioni. La procedura è stata applicata alle serie degli estremi annuali di precipitazione con durate uguali o superiori all'ora (1-3-6-12-24 ore) registrati dalle stazioni storiche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, funzionanti dal 1913 al 2002, e dalle stazioni della rete regionale realizzata a partire dal 1987, in modo da stimare i parametri  $a$  e  $n$  della curva di possibilità pluviometrica su una griglia a maglia quadrata di lato 250 m che copre l'intero territorio regionale.

Per maggiori dettagli sull'"Atlante delle precipitazioni intense in Piemonte" e sul metodo "Patched Kriging", si rimanda alla relazione finale dell'attività di ricerca, stilata dal gruppo di lavoro del Dipartimento dell'Ambiente, del Territorio e delle Infrastrutture (DIATI) del Politecnico di Torino e disponibile al seguente indirizzo web: [http://www.idrologia.polito.it/~claps/Papers/RELAZIONE\\_prog\\_STRADA\\_Piemonte.pdf](http://www.idrologia.polito.it/~claps/Papers/RELAZIONE_prog_STRADA_Piemonte.pdf).



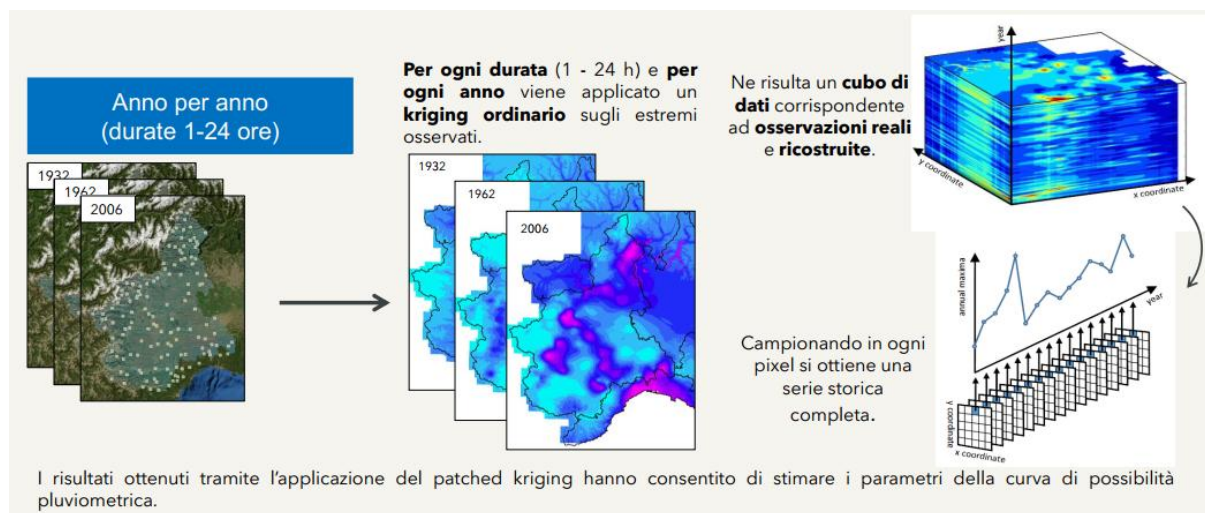


Figura 5.6 – Rappresentazione schematica del metodo “Patched Kriging”

Per i bacini oggetto di studio, ci si è avvalsi della tipologia di curva basata sul modello probabilistico retto dalla legge di Gumbel, consentendo in tal modo di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione disponibile.

La curva di possibilità pluviometrica da applicarsi ai massimi di generica durata  $d$  inferiore ad 1 giorno, può essere espressa anche come:

$$h_{d,T} = \mu(h_d) \cdot K_T = a \cdot d^n \cdot K_T, \quad (10)$$

in cui  $\mu(h_d)$  è la pioggia indice e  $K_T$  è il fattore di crescita. In questo caso, i parametri  $a$  e  $n$  dipendono esclusivamente dalle caratteristiche del sito esaminato.

Al fine di valutare le altezze di pioggia di progetto  $h_{d,T}$  con periodo di ritorno duecentennale per ciascun sottobacino, nell'applicativo GIS di ARPA Piemonte sono state individuate le celle corrispondenti ai centroidi dei bacini e sono stati ricavati i seguenti parametri  $a$ ,  $n$  e  $K_{T=200 \text{ anni}}$ , definiti secondo la distribuzione probabilistica di Gumbel:

Tabella 5 – Parametri delle curve di possibilità pluviometrica dei singoli bacini ricavati dall'Atlante delle piogge intense in Piemonte

NOME BACINO		$a$	$n$	$K_{200}$
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	31.3	0.36	2.6
	B2.2	31.34	0.36	2.6
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	31.11	0.35	2.6
	B3.2	31.19	0.34	2.6

Noti a questo punto i coefficienti delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e considerando, per ciascun sottobacino, il tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione  $t_c$  precedentemente individuato, si ottengono i seguenti valori di pioggia, utilizzati per il successivo calcolo della portata con periodo di ritorno di 200 anni:



Tabella 6 – Calcolo delle altezze di pioggia di progetto

NOME BACINO		$\alpha$	$n$	$K_{200}$	$t_c$ [h]	$h_{200}$ [mm]	$i$ [mm/h]	$i$ [mm/min]
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	31.3	0.36	2.6	5.12	146.5	28.62	0.48
	B2.2	31.34	0.36	2.6	3.77	131.4	34.86	0.58
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	31.11	0.35	2.6	3.34	123.4	36.94	0.62
	B3.2	31.19	0.34	2.6	5.82	147.6	25.35	0.42

### 5.3.4 Calcolo della portata duecentennale di progetto

Una volta individuate le caratteristiche morfometriche dei bacini d'interesse, il tempo di corrivazione ed i valori di precipitazione corrispondenti per  $T = 200$  anni riportati in Tabella 6, l'applicazione della formula razionale (vedi relazione (2)) ha permesso di determinare le seguenti portate duecentennali:

Tabella 7 – Calcolo delle portate duecentennali mediante la formula razionale

NOME BACINO		$\phi$	$S$ [km <sup>2</sup> ]	$t_c$ [h]	$h_{200}$ [mm]	$Q_{200}$ [m <sup>3</sup> /s]
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	0.45	8.04	5.12	146.5	29.08
	B2.2	0.31	6.29	3.77	131.4	18.96
Canale di ritorno del Malanghero	B3.1	0.39	2.25	3.34	123.4	8.93
	B3.2	0.39	6.98	5.82	147.6	19.24

## 6 DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO INFOWORKS ICM PER LA MODELLAZIONE INTEGRATA IDROLOGICA E IDRAULICA

### 6.1 Introduzione

Dopo aver individuato le portate duecentennali di riferimento, è stata condotta una modellazione integrata idrologica e idraulica del sistema dei canali posti tra i comuni di Caselle Torinese, Cirié e San Maurizio Canavese per definire l'assetto complessivo degli interventi di mitigazione del rischio idraulico.

Innanzitutto, è stato analizzato lo stato di fatto, che ha consentito di implementare un modello numerico integrato idrologico-idraulico, calibrato sulla base delle informazioni derivanti dall'applicazione della formula razionale come metodo di trasformazione afflussi-deflussi (vedi **Capitolo 5**). Il modello così calibrato è stato, poi, impiegato come base di partenza per le successive analisi nello stato di progetto. Infine, sono state svolte delle simulazioni nello scenario di progetto al fine di valutare la compatibilità idraulica dei canali scolmatori previsti.

### 6.2 Aspetti teorici

L'analisi idrologica e idraulica combinata è stata condotta con il software InfoWorks ICM, sviluppato dall'azienda inglese HR Wallingford per la verifica e la progettazione di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua naturali. L'applicativo consente di allestire e risolvere in regime di moto vario:

- modelli idraulici monodimensionali (1D) per lo studio di propagazione dell'onda di piena in alveo;



- modelli idraulici bidimensionali (2D) per lo studio di propagazione dell'esondazione in aree su cui è definita una griglia di elementi triangolari sulla base di un modello digitale del terreno (DTM);
- modelli idraulici misti (1D-2D) con la modellazione ibrida monodimensionale nel canale e bidimensionale nelle aree di espansione golenale.

La **tipologia** di modello prescelta per le simulazioni idrauliche in ambiente InfoWorks ICM è quella **mista 1D-2D**, con modellazione monodimensionale in alveo e bidimensionale nelle aree inondabili adiacenti all'alveo. L'interfaccia tra l'alveo dei canali e la zona 2D, che è la porzione del territorio modellata con magliatura triangolare, è costituita da connessioni spondali denominate linee di sponda (*bank lines*).

Di seguito sono riportati degli approfondimenti riguardanti gli aspetti teorici e le funzionalità del codice di calcolo impiegato.

### 6.2.1 Modello idrologico SCS-CN

In InfoWorks ICM è disponibile una serie di modelli di trasformazione afflussi-deflussi che permettono di sollecitare il modello geometrico con diverse condizioni al contorno, come l'inserimento di opportuni ietogrammi di pioggia incidenti in determinati sottobacini. Si possono, inoltre, inserire diversi modelli di corrivazione e di computazione delle perdite iniziali.

I modelli idrologici disponibili sono:

- Metodo razionale;
- Modello SCS-CN;
- Modello Green-Ampt;
- Modello Horton;
- Modello New UK;
- Modello dell'infiltrazione costante;
- Modello di Horner;
- Modello Fixed.

Per il caso in esame, è stato scelto di determinare la pioggia efficace, ovvero la frazione di precipitazione che contribuisce al deflusso diretto, attraverso il metodo SCS-CN, messo a punto dal *Soil Conservation Service* nel 1972. Secondo questo modello, il volume di deflusso superficiale  $E^A$  si calcola come

$$E^A = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}, \quad (11)$$

in cui:

- $P$  = altezza di pioggia in mm;

- $I_a$  = assorbimento iniziale, ovvero il volume specifico di pioggia sottratto a priori a causa dell'intercettazione della vegetazione e dell'accumulo nelle depressioni superficiali, che sulla base di dati sperimentali è assunto pari a  $0,2 \cdot S$ ;
- $S$  = volume massimo immagazzinabile nel terreno in mm, che si ottiene attraverso la relazione **(12)**.

$$S = 25,4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (12)$$

Il valore di Curve Number  $CN$  può assumere valori compresi tra 0 e 100 e dipende dal tipo (Tabella 8) e dall'uso del suolo (Tabella 9) e dall'entità della pioggia antecedente all'evento di interesse.

Tabella 8 – Classificazione dei tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS-CN

Tipo di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarssissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A. Il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in superficie.

Tabella 9 – Valori di CN in funzione della copertura del suolo

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500+1000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000+1500 m <sup>2</sup> (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500+2000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000+5000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000+10000 m <sup>2</sup> (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ....	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media ponderata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee, come suggerito da Mancini e Rosso (1989):

$$CN_{tot} = \frac{\sum CN_i \cdot A_i}{A_{tot}}, \quad (13)$$

dove:

- $CN_{tot}$  = Curve Number dell'intero bacino;
- $CN_i$  = Curve Number dell'i-esima zona omogenea;
- $A_i$  = superficie dell'i-esima zona omogenea;
- $A_{tot}$  = superficie totale del bacino.

Per valutare correttamente le portate al colmo di piena, è fondamentale definire le condizioni di saturazione del terreno perché, a parità di precipitazione, il contenuto di umidità nel suolo incide sulla risposta del bacino e sui deflussi generati. Il metodo esprime lo stato di saturazione attraverso le condizioni di umidità del terreno antecedenti l'inizio dell'evento (*AMC, Antecedent Moisture Condition*), individuando tre classi, AMC I, AMC II e AMC III, in relazione alla quantità di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti



l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC avviene secondo i criteri riportati in Tabella 10.

Tabella 10 – Criteri di attribuzione delle classi AMC

Classe AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	< 35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	> 28.0 mm	> 53.3 mm

Per condizioni antecedenti molto asciutte (AMC I) o molto umide (AMC III), si possono derivare i relativi valori di  $CN$ , determinati secondo la Tabella 8 e la Tabella 9 e riferiti a condizioni medie di umidità (AMC II), tramite le seguenti relazioni:

$$CN(I) = \frac{4,2 \cdot CN(II)}{10 - 0,058 \cdot CN(II)}, \quad (AMC I) \quad (14)$$

$$CN(I) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}, \quad (AMC II) \quad (15)$$

Per determinare la portata al colmo di piena, occorre calcolare il tempo di ritardo o *lag time*  $t_L$ , che è definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento di piena, e il baricentro del pluviogramma netto. Esso può essere stimato tramite la formula di Mockus (SCS, 1972):

$$t_L = 0,342 \frac{L^{0,8}}{s^{0,5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0,7}, \quad (16)$$

dove:

- $L$  = lunghezza dell'asta principale [km];
- $s$  = pendenza del bacino [%].

È stato dedotto empiricamente che:

$$t_L = 0,6 \cdot t_c, \quad (17)$$

essendo  $t_c$  il tempo di corrivazione del bacino d'interesse.

Il calcolo della portata di picco  $Q_p$  è effettuato sulla base di un idrogramma approssimato di forma triangolare che ha una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) e una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento), il cui volume  $E^A$  ha la seguente espressione:

$$E^A = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p t_b}{2}, \quad (18)$$

avendo indicato con  $t_b$  la durata dell'evento di piena.

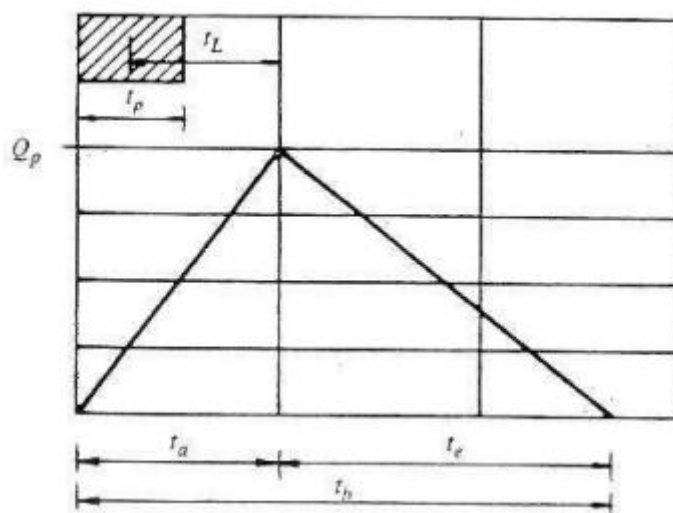


Figura 6.1 – Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo delle portate al colmo con il metodo SCS

Poiché è stato stabilito sperimentalmente che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37,5% del volume totale  $E^A$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2,67 \cdot t_a. \quad (19)$$

Nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante di durata  $t_p$  pari al tempo di corrivazione del bacino idrografico,  $t_a$  si determina come:

$$t_a = 0,5 \cdot t_p + t_L, \quad (20)$$

$$t_p = t_c = t_L/0,6. \quad (21)$$

Esprimendo il volume di deflusso  $E^A$  in mm, il tempo di accumulo  $t_a$  in ore e l'area  $A$  del bacino in km<sup>2</sup>, si ottiene:

$$Q_p = 0,208 \cdot \frac{E^A \cdot A}{t_a}. \quad (22)$$

### 6.2.2 Approccio numerico della componente monodimensionale

La propagazione delle portate generate dai bacini all'interno degli elementi del dominio monodimensionale che lavorano a pelo libero (inclusendo sia i tratti a cielo aperto che i tratti tombinati e le condotte) è descritta dalle equazioni differenziali di De Saint Venant relative alla conservazione della massa e del momento.

Le equazioni sono le seguenti:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0, \quad (23)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial y} + gAS_f = 0, \quad (24)$$

dove:

- $A$  = area bagnata;
- $Q$  = portata;
- $t$  = tempo;
- $x$  = distanza lungo l'asse del tratto fluviale/condotta;
- $g$  = accelerazione gravitazionale;
- $H$  = carico idraulico totale;
- $S_f$  = cadente piezometrica.

La cadente piezometrica  $S_f$  può essere determinata con le espressioni di Colebrook-White, di Manning o di Strickler.

Il moto in pressione nei tratti tombinati è calcolato con le stesse equazioni delle correnti a pelo libero mediante l'utilizzo dello "Slot di Preissman". Applicando quest'artificio, si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. Così facendo, il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto da gravità a quello in pressione.



### 6.2.3 Equazioni di base della componente 2D

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è chiamato “2D-Shallow Water Equations” ed è derivato dalle equazioni di Navier-Stokes ipotizzando un fluido incomprimibile e una profondità bassa rispetto alle dimensioni orizzontali. Le equazioni su cui è basato il modello, dette anche “equazioni delle acque basse” o “*shallow water equations*” (SWE), assumono che il flusso sia prevalentemente orizzontale e che la variazione di velocità sopra la coordinata verticale sia trascurabile. Le SWE sono le seguenti:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q_{1D}; \quad (25)$$

$$\frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = S_{0,x} - S_{f,x} + q_{1D}u_{1D}; \quad (26)$$

$$\frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} = S_{0,y} - S_{f,y} + q_{1D}v_{1D}, \quad (27)$$

dove:

- $h$  = profondità dell'acqua;
- $u, v$  = velocità nelle direzioni  $x$  e  $y$ , rispettivamente;
- $S_{0,x}, S_{0,y}$  = pendenze dell'alveo nelle direzioni  $x$  e  $y$ , rispettivamente;
- $S_{f,x}, S_{f,y}$  = attriti nelle direzioni  $x$  e  $y$ , rispettivamente;
- $q_{1D}$  = portata di transito per unità di superficie;
- $u_{1D}, v_{1D}$  = componenti di velocità della portata di transito  $q_{1D}$  nelle direzioni  $x$  e  $y$ , rispettivamente.

La formulazione conservativa delle equazioni delle acque basse è essenziale al fine di preservare le grandezze fondamentali di base come la massa e la quantità di moto. Questo tipo di formulazione permette la rappresentazione di discontinuità di flusso e cambiamenti tra portata gradualmente e rapidamente variata.

Il motore di calcolo adotta una discretizzazione basata su uno schema esplicito ai volumi finiti del primo ordine utilizzando volumi di controllo per rappresentare l'area di interesse. Con il metodo dei volumi finiti, il dominio di modellazione è diviso in forme geometriche su cui le SWE sono integrate per determinare i flussi attraverso i confini del volume di controllo. Lo schema utilizzato per risolvere le SWE è basato sulla combinazione numerica Godunov, con i flussi numerici attraverso i confini dei volumi di controllo calcolati mediante il metodo approssimato di Roe per la soluzione al problema di Riemann. Poiché lo schema ha una soluzione esplicita, non richiede iterazione per raggiungere la stabilità entro tolleranze definite, come avviene per il regime monodimensionale. Invece, per ciascun elemento, il passo temporale necessario viene calcolato utilizzando la condizione di Courant-Friedrichs-Lewy al fine di raggiungere la stabilità:

$$c \frac{\Delta x}{\Delta t} \leq 1, \quad (28)$$

in cui  $c$  è il numero adimensionale di Courant (il controllo di stabilità Timestep impostato nei parametri 2D default = 0,95).

La distinzione tra cella bagnata e cella asciutta è basata sulla definizione di una profondità di soglia e la velocità della cella è impostata a zero se la profondità è inferiore a tale valore soglia. Ciò evita la creazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate/asciutte. Il valore di default per questa profondità di soglia è 1 mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari). InfoWorks ICM utilizza una mesh non strutturata per rappresentare la zona 2D e questo, con lo schema utilizzato, consente una simulazione stabile anche per flussi rapidamente variabili, flussi super-critici e transizioni attraverso lo stato critico.

#### 6.2.4 Considerazioni sulla connettività tra i domini 1D-2D

Il collegamento tra il dominio monodimensionale e quello bidimensionale avviene per mezzo di connessioni spondali denominate linee di sponda (*bank lines*).

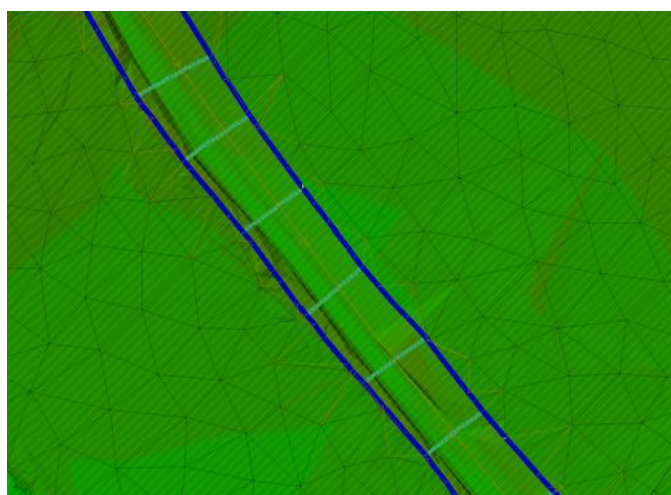


Figura 6.2 – Dettaglio del modello 1D-2D implementato in InfoWorks ICM. Le linee di sponda, che consentono il collegamento tra i domini monodimensionale e bidimensionale, sono evidenziate in blu.

Le *bank lines* sono modellate in InfoWorks ICM come sfioratori laterali a funzionamento libero o rigurgitato in funzione dei tiranti idrici in alveo e dei battenti nella zona 2D. Risulta quindi necessario definire i valori del coefficiente di deflusso e del limite modale, che definiscono le modalità di scambio d'acqua tra la zona 1D e quella 2D e, quindi, le condizioni all'interfaccia tra le due aree a differente modellazione. Per le simulazioni idrauliche in ambiente InfoWorks ICM, si è ritenuto opportuno e congruente adottare un coefficiente di deflusso sulle linee spondali pari a 0,9 e un limite modulare di 0,8.

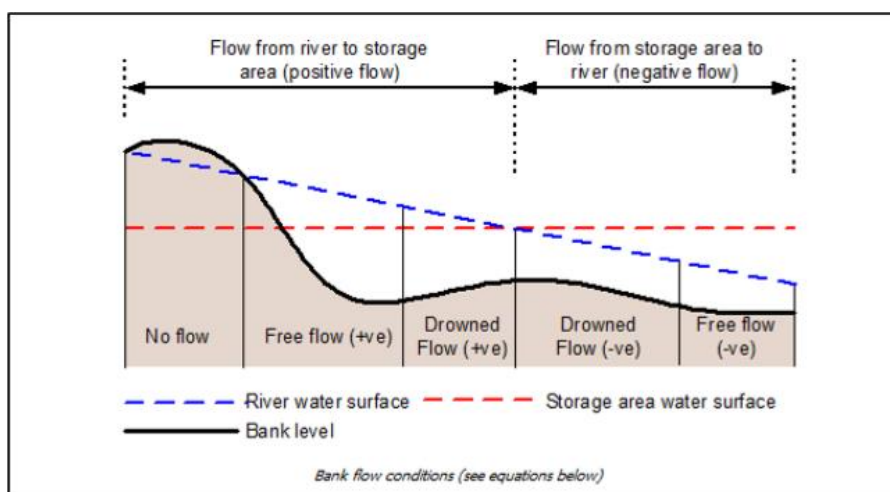


Figura 6.3 – Condizioni di flusso lungo le sponde.



## 6.3 Assetto geometrico

### 6.3.1 Topografia di base

Come già accennato, lo studio combinato idrologico e idraulico considera un'area di estensione pari a circa 16 km<sup>2</sup>, che è posta tra i comuni di Cirié, San Maurizio Canavese e Caselle Torinese, al fine di valutare gli effetti di precipitazioni molto intense lungo i canali di ritorno di Cirié e del Malanghero e di garantire la messa in sicurezza del territorio circostante attraverso l'individuazione delle opere di mitigazione del rischio idraulico maggiormente appropriate al contesto analizzato.

Al fine di operare con informazioni topografiche aggiornate, l'implementazione della geometria di calcolo è stata basata sul **DTM a 1 m** dell'area di interesse ricavato mediante Li.D.A.R. aviotrasportato nel mese di Febbraio 2022 (per maggiori dettagli si rimanda al **Paragrafo 5.2.1**), integrato con un **rilievo topografico di dettaglio supportato da strumentazione GPS e condotto in sito lungo le aste dei canali**. In questo modo, è stato possibile avere delle informazioni maggiormente accurate riguardanti le sezioni e i profili delle gore.

Al termine della ricostruzione topografica dell'area, è stata **verificata la coerenza tra le quote altimetriche** del rilievo integrativo e del DTM a 1 m mediante battitura di punti di coordinate note posti in prossimità dei canali.

Uno stralcio del modello digitale del terreno così ottenuto, utilizzato per le successive fasi di modellazione, è riportato nella figura seguente.

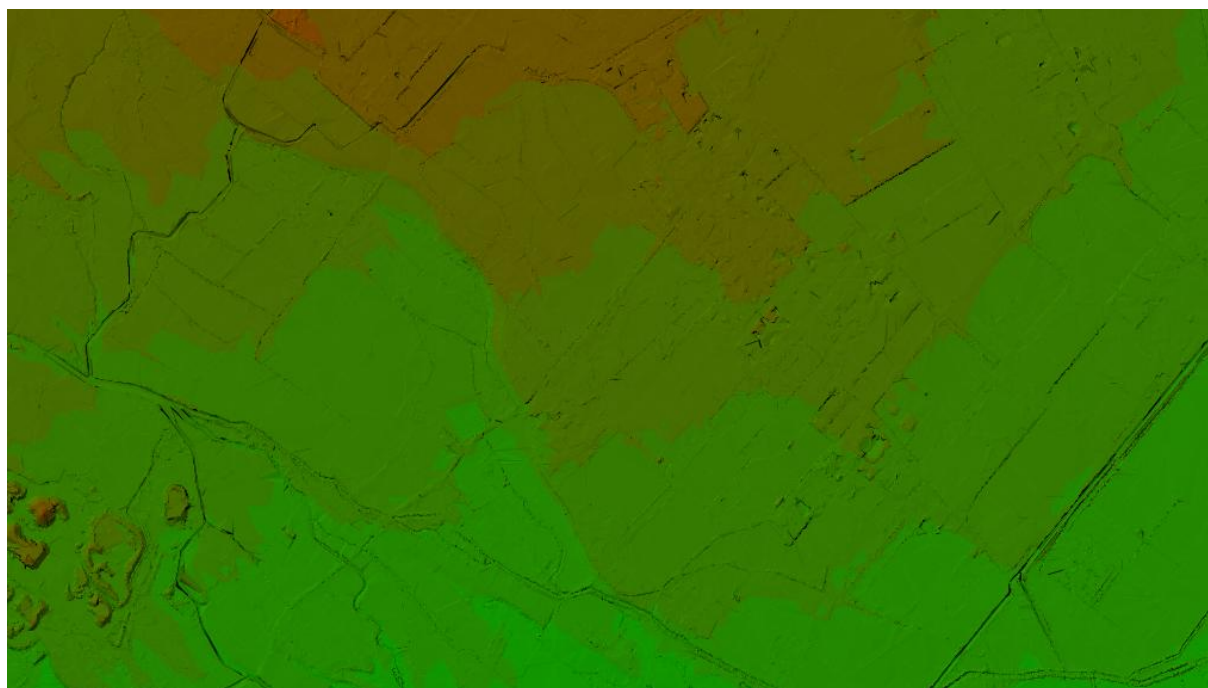


Figura 6.4 – Stralcio del DTM utilizzato per le successive fasi di modellazione.

### 6.3.2 Dominio monodimensionale

La modellazione geometrica monodimensionale in alveo (1D) ha interessato i canali di ritorno di Cirié e del Malanghero, la Bealera Sturetta, la Gora del Malanghero (dal canale di ritorno di Cirié alla camera di regolazione posta al confine con l'aeroporto di Torino-Caselle), la Gora di San Maurizio – ramo di San Michele (tra la rotonda posta all'incrocio tra la SP13 e la SP16 e l'immissione nel canale principale di San Maurizio) e la gora principale di San Maurizio (nel tratto che costeggia la pista aeroportuale).

Le sezioni sono state inserite con passo medio di circa 70 m in modo da garantire un elevato grado di dettaglio nelle analisi e di affidabilità dei risultati ottenuti. Le caratteristiche geometriche dei ponti e di altri manufatti idraulici, come soglie, prese e paratoie, sono state rilevate tramite rilievo diretto sul campo. Tenendo conto delle esigue dimensioni degli attraversamenti, questi sono stati modellati all'interno del programma di calcolo come dei *culvert*, le cui dimensioni corrispondono a quelle delle luci degli attraversamenti stessi.

Con riferimento ai dati presenti in letteratura (*Chow, 1959*) e alla documentazione fotografica prodotta durante i sopralluoghi e le campagne di rilievo, sono stati adottati i seguenti coefficienti di scabrezza di Manning per i canali analizzati:

Tabella 11 – Coefficienti di scabrezza di Manning adottati per il dominio 1D

$n$ [s/m <sup>1/3</sup> ]	Tipo di alveo
0,025	tratti con fondo regolarizzato e sponde rivestite con massi cementati o calcestruzzo armato
0,025	tratti tombinati con pareti in calcestruzzo armato
0,035	tratti in terreno naturale con sponde inerbite
0,035	tratti con fondo regolarizzato e sponde rivestite con materassi tipo Reno

Per entrambi gli scenari di stato di fatto e di progetto, come **condizione al contorno** è stato imposto lo **ietogramma rettangolare** di un evento sintetico con **periodo di ritorno  $T = 200$  anni** e una durata di 6 ore, pari al massimo tempo di corrivazione individuato per i bacini analizzati (vedi **Paragrafo 5.3.2**). L'inserimento di questo ietogramma di pioggia consente al programma di calcolo di valutare gli idrogrammi di piena generati da ciascun bacino tramite il metodo di afflussi-deflussi SCS-CN. Tali idrogrammi sono, poi, applicati all'interno del dominio monodimensionale in dei particolari elementi del modello detti "nodi".

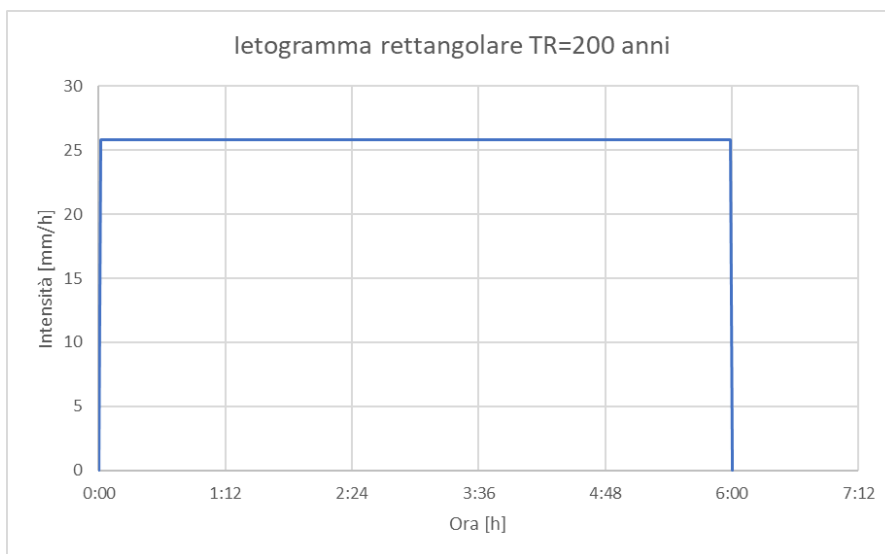


Figura 6.5 – Ietogramma rettangolare posto in ingresso al programma di calcolo.

Per la simulazione dello **stato di fatto**, è stata imposta come **condizione al contorno di valle l'altezza di moto uniforme (normal depth)**, mentre per lo **stato di progetto**, che prevede la realizzazione degli scaricatori nello Stura di Lanzo, è stata assunta la **Known W.S.** (altezza d'acqua nota), corrispondente al livello di piena frequente ( $T = 20$  anni) del T. Stura (fascia A del P.A.I.), per la valutazione del rigurgito nei canali scolmatori in progetto. Tale scelta è giustificata dal fatto che la contemporaneità degli eventi eccezionali ( $T = 200$  anni) tra il Torrente Stura e i canali irrigui oggetto di studio non si è manifestata nell'evento del settembre 2008 e nemmeno in quelli precedenti sino al 2000 compreso. Durante l'alluvione del 1994, i livelli idrici dello Stura non hanno raggiunto valori paragonabili alla fascia B del PAI, ma si sono mantenuti all'interno dei limiti dell'attuale fascia A (rif. documento "E\_CI\_R03 - Relazione geologica" del progetto preliminare generale elaborato dalla Provincia di Torino nel 2013).

Dal modello digitale del terreno utilizzato per le valutazioni idrologiche e idrauliche, la quota idrica TR20 dello Stura di Lanzo è risultata pari a **296,24 m s.l.m.** nel punto di immissione del **canale scolmatore di Cirié** e a **280,79 m s.l.m.** in corrispondenza del **canale scolmatore del Malanghero**.

Per verificare la correttezza di queste assunzioni, sono stati confrontati i valori ricavati da DTM con quelli presenti nella "Tab. 5.38: profili di piena per il torrente Stura di Lanzo" riportata all'interno del documento "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni attualmente in vigore.

Tabella 12 – Estratto della Tab. 5.38: profili di piena per il torrente Stura di Lanzo (Fonte: PGRA, AdBPo)

Sez. PAI	Sez. modello	Progr. modello (km)	T = 20 anni	T = 200 anni	T = 500 anni	Sez. PAI	Sez. modello	Progr. modello (km)	T = 20 anni	T = 200 anni	T = 500 anni
			Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)				Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)	Quota idrica (m s.m.)
	131	33.465	449.31	450.90	451.59	016	56	48.141	296.01	296.69	296.93
	130	33.495	448.74	450.44	451.23		55	48.404	294.42	295.09	295.30
	129	33.543	448.45	450.26	451.07		54	48.558	293.53	294.20	294.41
	128 (m)	33.558	448.43	450.27	451.08		53	48.808	290.98	291.59	291.78
	128 (v)	33.558	446.88	447.54	447.74		52	48.977	289.83	290.41	290.60
	127	33.573	447.83	447.11	447.34		51	49.308	287.71	288.20	288.38
	126	33.715	447.05	448.18	448.43		50	49.487	286.31	286.79	286.95
028	125	33.861	445.00	446.42	446.98	015	49	49.673	284.25	284.76	284.98
	124	33.965	442.54	443.20	443.49		48	49.911	283.38	283.98	284.20
	123	34.215	439.48	440.83	441.25		47	50.058	282.30	282.72	282.88
	122	34.465	437.20	437.97	438.36		46	50.308	279.24	279.94	280.20
027	121	34.558	436.10	436.68	436.73		45	50.558	277.80	278.47	278.69
	120	34.715	434.47	435.22	435.46		44	50.808	275.34	275.80	275.98
	119	34.965	430.25	430.84	430.98	014	43	50.933	274.28	274.90	275.14

Come si può osservare in Figura 6.6, il tratto terminale del canale scolmatore di Cirié è posto nelle immediate vicinanze della Sez. PAI 16 (Sez. modello PGRA 56) e il tirante idrico TR20 adottato per il T. Stura (296,24 m s.l.m.) è **pressoché identico** a quello riportato nella tabella soprastante (296,01 m s.l.m.).



Figura 6.6 – Ubicazione delle Sezioni PAI e PGRA rispetto al tratto terminale del canale scolmatore di Cirié.

Invece, in Figura 6.7, è possibile notare che l'immissione del canale scolmatore del Malanghero nello Stura di Lanzo è collocata a monte della Sez. modello PGRA 46. Compatibilmente alla posizione di questo nodo idraulico, la quota idrica TR20 adottata



per lo Stura (**280,79 m s.l.m.**) risulta **coerente** rispetto a quella indicata dal PGRA nella Sez. 46 (**279,24 m s.l.m.**) e nella Sez. 47 (**282,30 m s.l.m.**).



Figura 6.7 – Ubicazione delle Sezioni PAI e PGRA rispetto al tratto terminale del canale scolmatore del Malanghero.

In seconda battuta, per quanto riguarda le opere in progetto, è stata predisposta una modellazione idraulica che tenga conto del rigurgito indotto dal Torrente Stura di Lanzo in condizioni di piena T20 e T200. Nel secondo caso è stato impostato un livello di partenza nel punto terminale del canale in progetto pari a **296.69 m s.l.m.**, come riportato all'interno della Tabella 5.38: profili di piena per il Torrente Stura di Lanzo, contenuta in Tabella 12. Queste verifiche sono riportate nel **Paragrafo 7.3.1.2.1**.

### 6.3.3 Dominio bidimensionale

In InfoWorks ICM, la zona 2D è discretizzata da una maglia (*mesh 2D*) triangolare sulla quale sono condotti i calcoli per la risoluzione del moto bidimensionale. La creazione di questa *mesh* può essere regolata da alcuni parametri come le dimensioni massima e minima dei triangoli e la dipendenza dal terreno con massima variazione di altezza pari ad un valore determinato. Quando è attivata la dipendenza dal terreno (*Terrain-sensibile meshing*), InfoWorks ICM genera una maglia con triangoli preliminari. Se le diverse quote all'interno del triangolo superano la massima variazione dell'altezza prevista per la zona 2D, il triangolo è ulteriormente suddiviso, aumentando la risoluzione della *mesh* nelle aree in cui le quote del terreno variano rapidamente, finché la massima variazione di altezza non è più superata. In questo modo, è incrementata la precisione del calcolo per le aree caratterizzate da importanti variazioni in quota del terreno.

Ai fini della modellazione, la dimensione massima dei triangoli è stata impostata pari a 100 m<sup>2</sup>, mentre l'estensione minima degli elementi è pari a 25 m<sup>2</sup>. La massima variazione di altezza è stata scelta pari a 1,00 m.

Generalmente, nella definizione del perimetro della zona di modellazione bidimensionale, è opportuno definire un'area d'indagine con estensione superiore alla massima area allagata presunta e per la quale non si verifica la fuoriuscita dei deflussi. Ciononostante, in taluni casi, come ad esempio per le aree poste a valle dei tratti terminali dei corsi d'acqua simulati, avviene il passaggio dei deflussi attraverso il perimetro 2D e, per questo motivo, è necessario definire delle condizioni al contorno al modello bidimensionale. Il software prevede le seguenti tipologie di condizioni al contorno:

- *vertical wall*, con la quale si considera la presenza di una barriera impermeabile di altezza infinita che non consente la fuoriuscita delle acque dalla zona 2D;
- *critical condition*, che prevede l'instaurarsi di condizioni di deflusso critiche su stramazzone lungo il perimetro del dominio bidimensionale (le acque non possono rientrare nella zona 2D);
- *dry*, con cui si considera la presenza di un pozzo senza fondo attorno al confine del dominio bidimensionale (l'acqua che giunge al bordo fluisce fuori dalla zona 2D e verrà persa dalla simulazione);
- *normal condition*, che ipotizza l'equilibrio tra la pendenza e le forze di attrito lungo il perimetro e prevede che la profondità e la velocità siano mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il bordo, in modo che essa possa defluire verso l'esterno senza perdite.

Nelle simulazioni effettuate, la ***normal condition*** è stata scelta come **condizione al contorno al modello 2D**.

Con riferimento ai dati presenti in letteratura (*Chow, 1959*), alla documentazione fotografica prodotta durante i sopralluoghi e le campagne di rilievo e alle carte di

copertura del suolo reperibili dal GeoPortale della Regione Piemonte, è stato scelto di adottare un coefficiente di scabrezza di Manning per il dominio bidimensionale come riportato in Tabella 13.

Tabella 13 – Coefficiente di scabrezza di Manning adottato per il dominio 2D

$n \text{ [s/m}^{1/3}\text{]}$
0,05

Il modello geometrico è stato poi completato con l’inserimento degli edifici esistenti, che all’interno di InfoWorks ICM sono rappresentati da poligoni chiusi, con pareti di altezza infinita, dove viene raccordata la *mesh 2D*. Poiché gli edifici rappresentano un impedimento per il deflusso delle acque, il loro inserimento nella geometria di calcolo consente di osservare la progressione del fronte di esondazione in funzione degli ostacoli che si trovano lungo il suo percorso. Per rappresentare gli edifici all’interno del modello idraulico, è stato utilizzato lo shapefile “*BDTRE – Edificio (EDIFIC)*” appartenente al tema “Edificato” della BDTRE 2022 (Base Dati Territoriale di Riferimento degli Enti piemontesi) e accessibile attraverso il GeoPortale della Regione Piemonte.

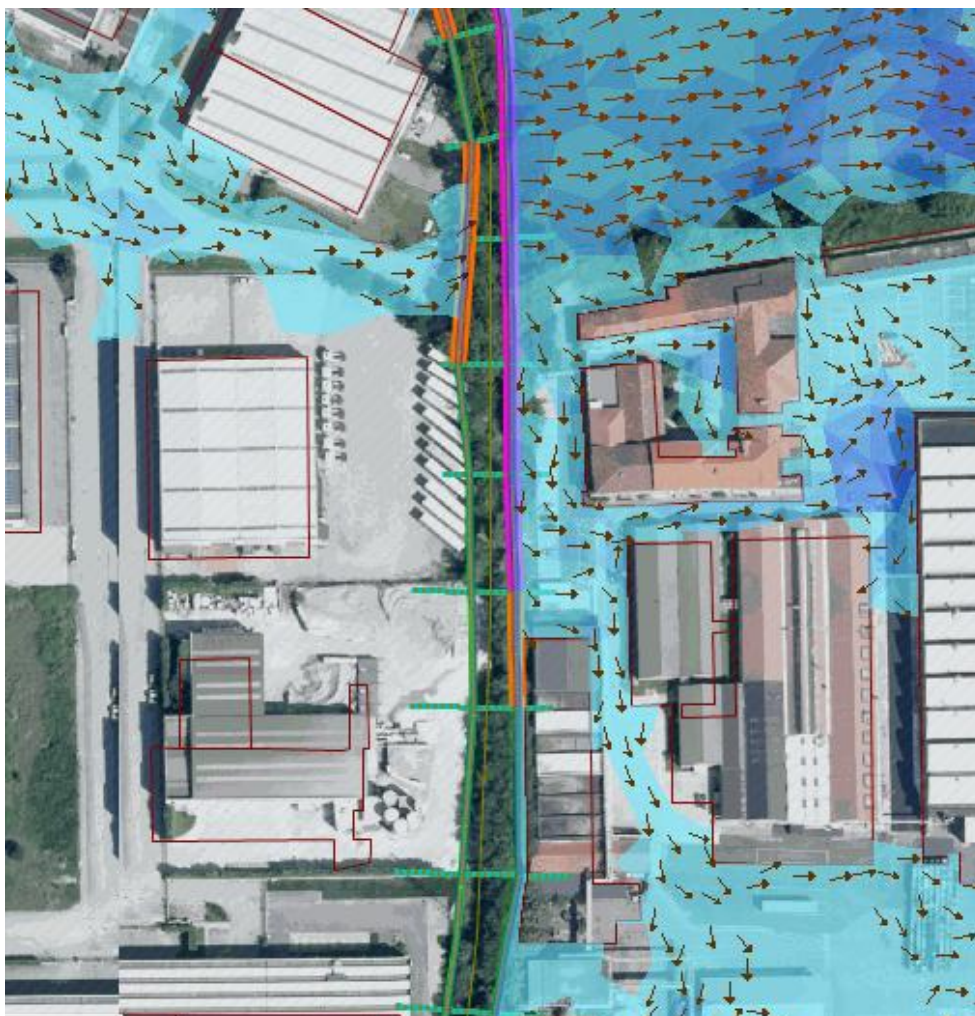


Figura 6.8 – Dettaglio della simulazione di allagamento per un evento di piena duecentennale allo stato di fatto in cui è possibile apprezzare la progressione del fronte di esondazione in funzione degli ostacoli incontrati lungo il percorso.

Oltre agli edifici, sono state inserite delle strutture lineari 2D che simulano la presenza di infrastrutture come muri, recinzioni e/o arginature e consentono di aumentare il dettaglio dei rilievi e delle strutture idraulicamente rilevanti esistenti. Tali strutture rappresentano di fatto degli ostacoli per il deflusso delle acque ed è possibile valutare la loro interazione con l'avanzamento del fronte di allagamento.



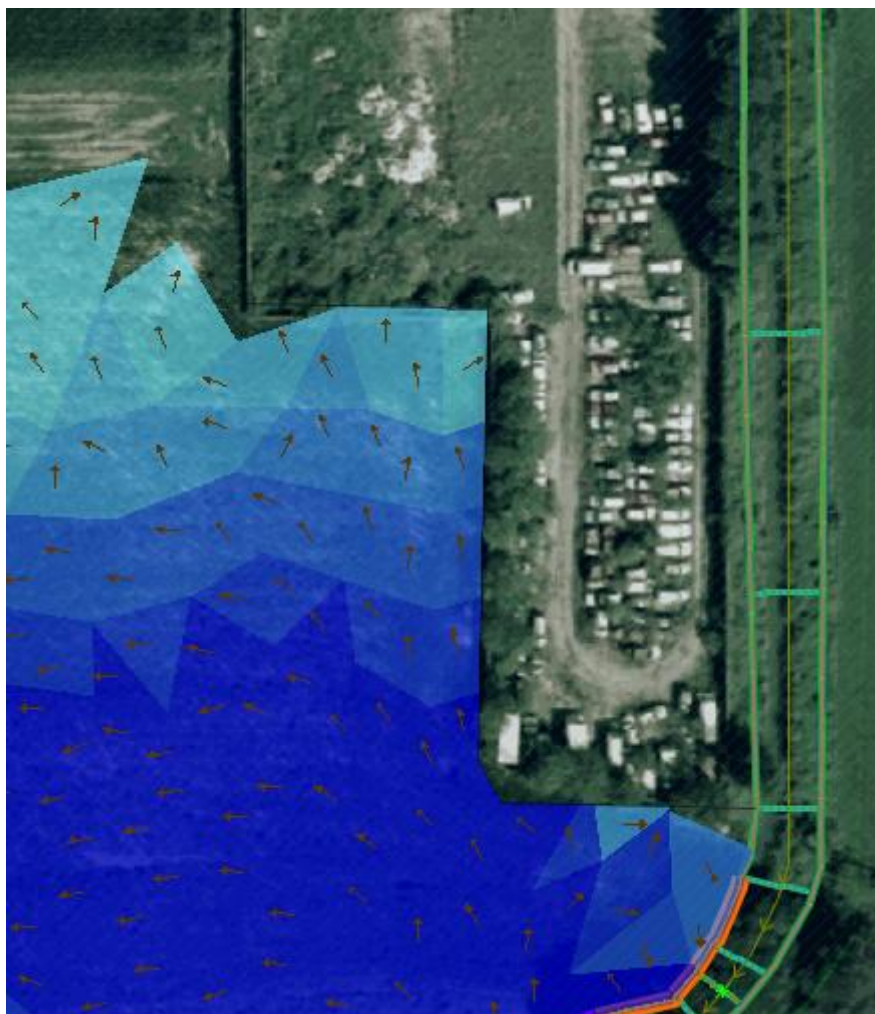


Figura 6.9 – Particolare di una struttura lineare 2D che simula la presenza di un muro di confine.

### 6.3.4 Calibrazione del modello

Al fine di implementare un modello idrologico-idraulico affidabile, è stata effettuata una procedura di calibrazione volta a definire tiranti, velocità e aree allagate il più possibile aderenti alla realtà. Innanzitutto, sono stati tarati i valori di  $CN$  e di tempo di corrivazione dei bacini illustrati nel **Paragrafo 5.2.2** in modo tale che i deflussi generati siano comparabili con i valori di portata al colmo di piena con periodo di ritorno di 200 anni valutati mediante il metodo razionale (vedi Tabella 7).

Tabella 14 – Risultati della taratura condotta sui parametri morfometrici dei bacini in InfoWorks ICM.

NOME BACINO		$t_c$ [h]	$CN$ [-]	$Q_{200}$ razionale [m³/s]	$Q_{200}$ SCS/CN [m³/s]
Canale di ritorno di Cirié	B2.1	5.5	64	29.08	28.93
	B2.2	5.75	58	18.96	19.05
Canale di ritorno del Malanthero	B3.1	4.33	69	8.93	8.81
	B3.2	5.91	56	19.24	18.99

Terminata questa fase, la calibrazione è proseguita con una serie di iterazioni successive del modello volte a individuare singolarità e anomalie della base topografica di riferimento. Infine, è stato effettuato un riscontro tra le aree allagate secondo le simulazioni numeriche e le informazioni relative agli eventi alluvionali del passato, ricavate attraverso l'analisi della Banca Dati Eventi del Piemonte, dei dati della Provincia di Torino e delle testimonianze dei tecnici comunali e del Consorzio Irriguo Riva Sinistra Stura. Il principale intervento su cui si è intervenuti in questa fase è il coefficiente di Manning, sul quale sono state operate delle piccole variazioni compatibili con il tipo di copertura.

Al termine di questo procedimento, **la calibrazione effettuata ha permesso di raggiungere un risultato più che soddisfacente in termini di tiranti, velocità e aree allagate.**

## 7 SCENARI DI CALCOLO E ANALISI DEI RISULTATI

Il modello contiene due scenari, uno per le **condizioni esistenti** e uno per le **condizioni di progetto**.

Il primo consente la riproduzione dei luoghi esistenti in occasione del rilievo topografico di dettaglio di febbraio 2022, mentre il secondo permette di analizzare gli effetti sul territorio dovuti alla soluzione progettuale prevista per la mitigazione del rischio idraulico nei comuni di Caselle Torinese, Cirié e San Maurizio Canavese.

Il presente capitolo propone, pertanto, l'analisi dei risultati di calcolo del modello idraulico nei due scenari sopra individuati (stato di fatto e di progetto), simulando il deflusso della portata associata ad un periodo di ritorno di 200 anni.

### 7.1 Stato di fatto

In Figura 7.1 sono riportati i risultati della simulazione relativa allo scenario stato di fatto per l'evento duecentennale di progetto. Nei paragrafi successivi sono descritti in maniera dettagliata le problematiche e i punti critici emersi dalla modellazione idraulica per i canali di ritorno di Cirié e del Malanghero nello scenario attuale. Tale analisi risulta di fondamentale importanza per definire e comprendere le scelte progettuali per la mitigazione del rischio idraulico nel territorio in esame, che saranno illustrate nel **Paragrafo 7.2**.



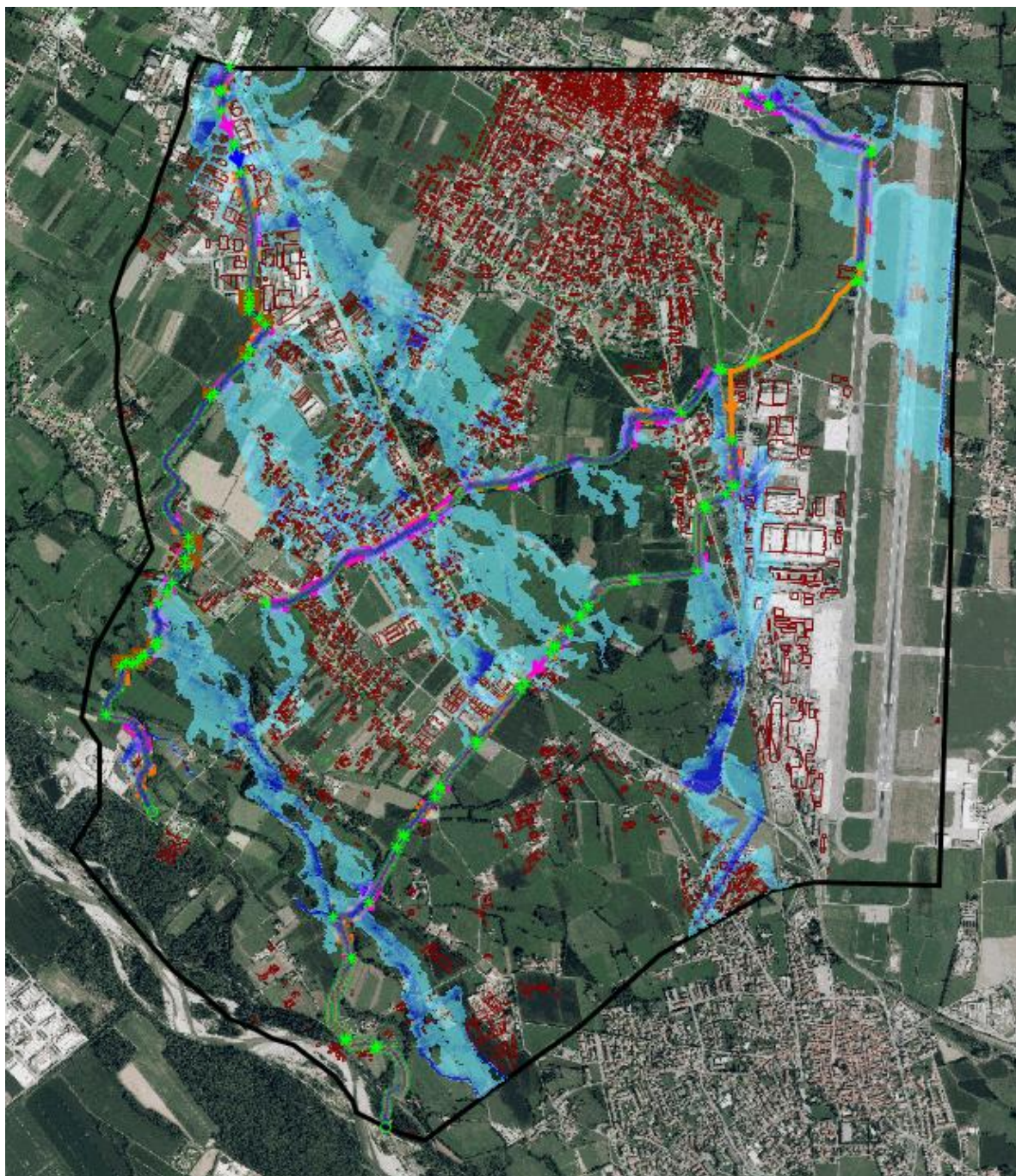


Figura 7.1 – Risultati della simulazione numerica relativa allo scenario stato di fatto per l'evento duecentennale di progetto.



### 7.1.1 Canale di ritorno di Cirié

Dall'esame dei risultati ottenuti per la simulazione relativa allo scenario stato di fatto per l'evento duecentennale di progetto (in Figura 7.1), è stato possibile riconoscere i seguenti punti critici lungo il canale di ritorno di Cirié:

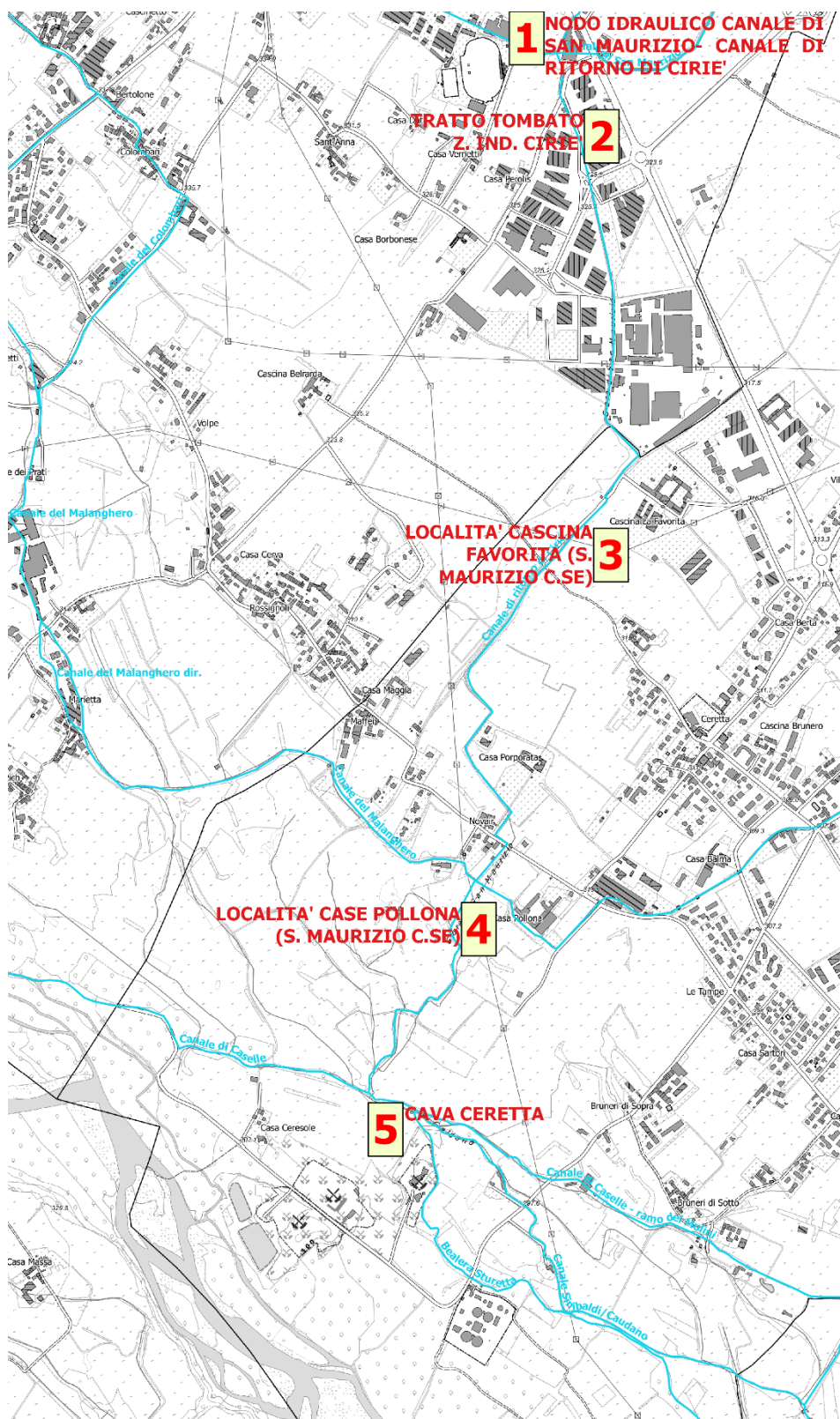


Figura 7.2 – Ubicazione dei punti critici del canale di ritorno di Cirié su allestimento cartografico BDTRE2022.

1) Nodo idraulico Canale di ritorno di Cirié – Canale di Cirié – Gora di San Maurizio

Questo nodo idraulico, situato all’imbocco del canale di ritorno di Cirié, rappresenta uno dei punti maggiormente critici. Infatti, la sezione ridotta dei canali in questo tratto, unita alla presenza del tratto tombato del Canale di San Maurizio al di sotto dello stabilimento industriale “Martinetto Pallets” e alla presenza di un attraversamento del canale di ritorno di Cirié, posto subito a valle del nodo idraulico, che riduce l’officiosità idraulica del canale e determina effetti di rigurgito a monte, provoca estesi allagamenti che coinvolgono stabilimenti industriali, abitazioni e la SP2 delle Valli di Lanzo.

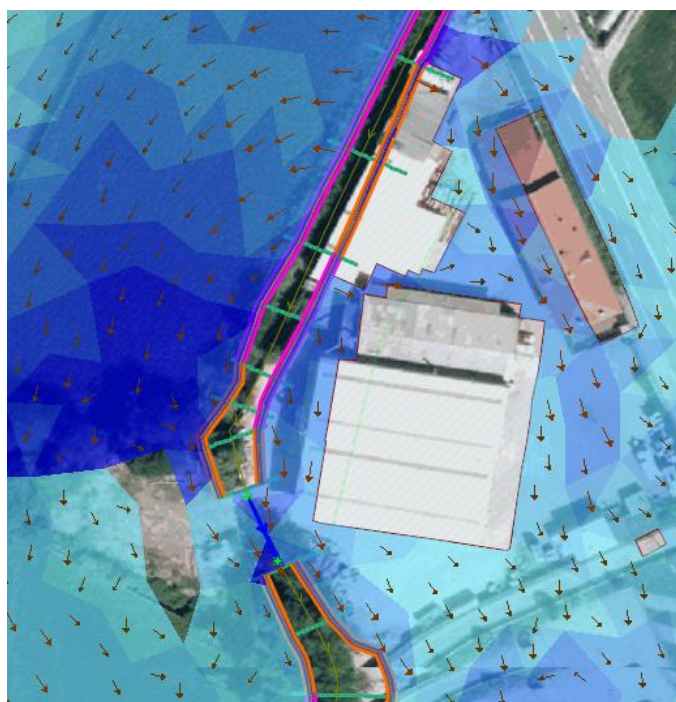


Figura 7.3 – Dettaglio del modello idraulico in corrispondenza del nodo idraulico Canale di ritorno di Cirié – Gora di San Maurizio in presenza di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

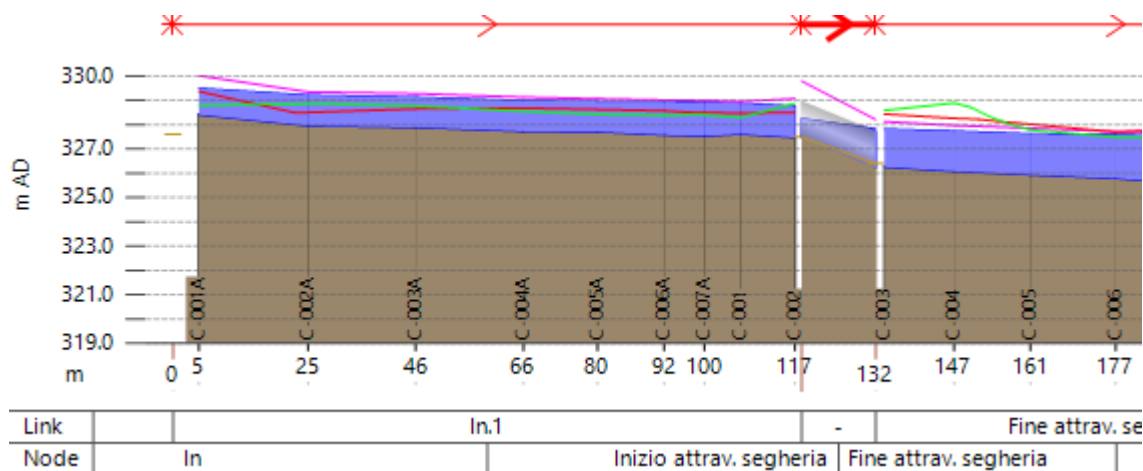


Figura 7.4 – Profilo del canale di ritorno di Cirié in corrispondenza del nodo idraulico con la Gora di San Maurizio in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

## 2) Tratto tombato Zona industriale di Cirié

Nel tratto situato nella zona industriale di Cirié, lungo via Irma Raineri, il canale esistente è realizzato a sezione rettangolare chiusa in calcestruzzo armato e non è in grado di smaltire la portata di piena di progetto. La riduzione dell'officiosità idraulica del canale provoca, inoltre, un innalzamento dei livelli idrici subito a monte del tratto tombato, che è responsabile di allagamenti che interessano diversi capannoni industriali.



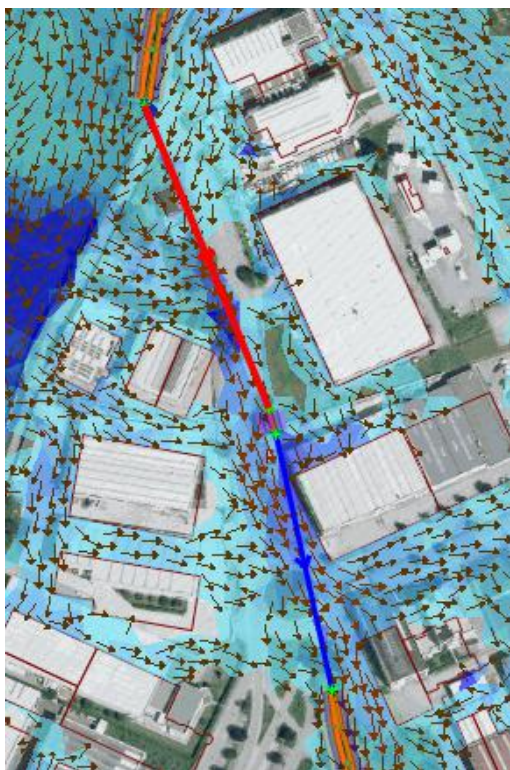


Figura 7.5 – Particolare del modello idraulico in corrispondenza del tratto tombato nella zona industriale di Cirié in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

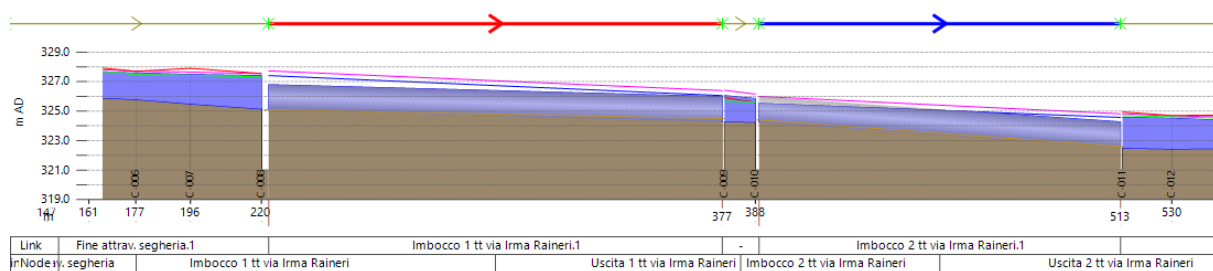


Figura 7.6 – Profilo del canale di ritorno di Cirié in corrispondenza del tratto tombato in via Irma Raineri (zona industriale di Cirié) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

### 3) Località Cascina Favorita (San Maurizio Canavese)

Nel tratto situato a valle della zona industriale di Cirié, appartenente al comune di San Maurizio Canavese, la ridotta sezione del canale esistente e la presenza di una serie di attraversamenti che ne riducono ulteriormente l'efficienza idraulica sono responsabili di estese inondazioni che coinvolgono campi coltivati, aziende agricole situate in località Cascina Favorita, abitazioni e viabilità nella frazione Ceretta di San Maurizio Canavese.



Figura 7.7 – Particolare del modello idraulico in località Cascina Favorita in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

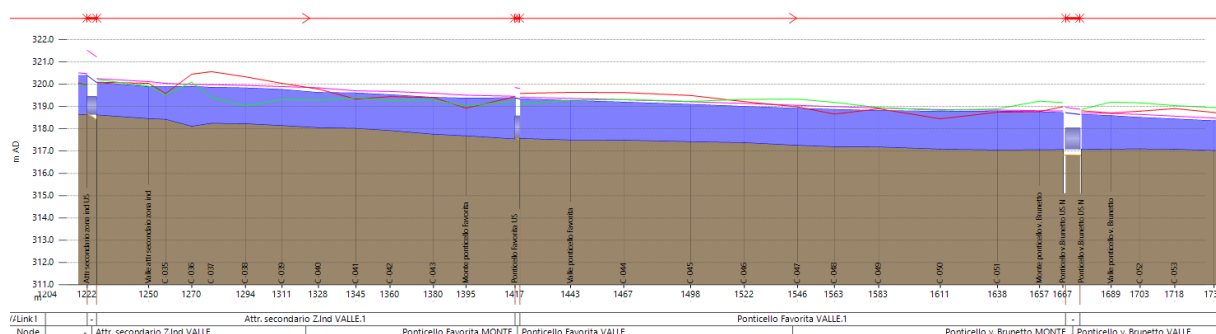


Figura 7.8 – Profilo del canale di ritorno di Cirié nel tratto che costeggia località Cascina Favorita (S. Maurizio C.se) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.



#### 4) Località Case Pollona (San Maurizio Canavese)

A valle dell'incrocio con la Gora del Malanghero, la sezione del canale di ritorno di Cirié si restringe e non è sufficiente a garantire il regolare deflusso della piena di progetto. Inoltre, i flussi sono ulteriormente ostacolati dalla presenza di passerelle di attraversamento. Per tali motivi, si registra una vasta esondazione, in prossimità della zona residenziale di Case Pollona, in San Maurizio C.se, il cui fronte progredisce verso SE in accordo con l'andamento planimetrico, andando a interessare anche la località Bruneri di Sopra e ad apportare un maggiore contributo di acque nel Canale di Caselle.

In aggiunta a quanto previsto dal modello, in condizioni di precipitazioni intense, si sono registrati in passato diversi allagamenti causati dalla Gora del Malanghero e che hanno colpito le abitazioni di Case Pollona.

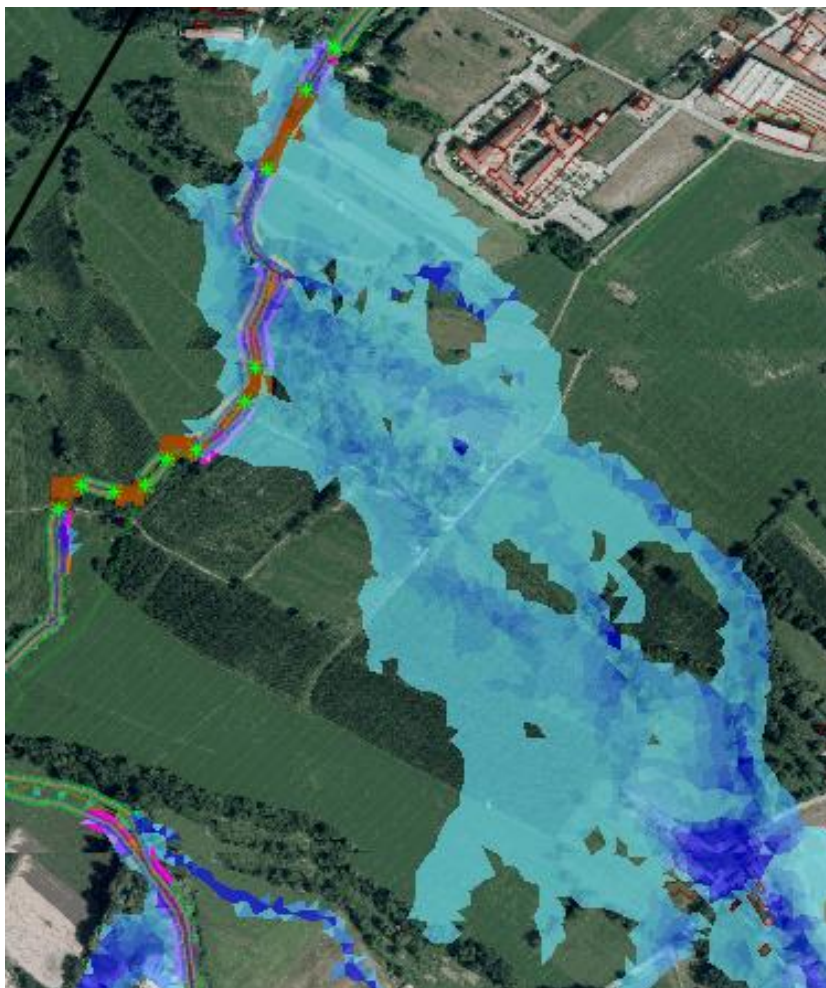


Figura 7.9 – Dettaglio del modello idraulico in località Case Pollona in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

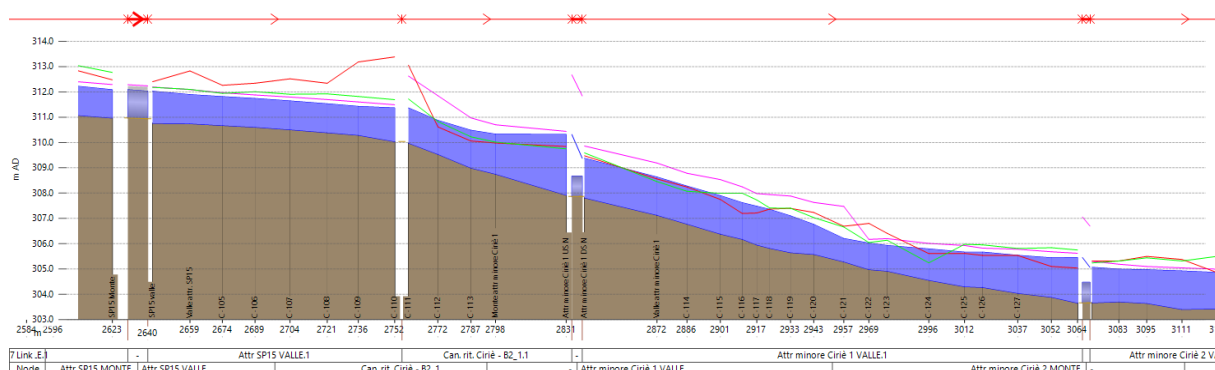


Figura 7.10 – Profilo del canale di ritorno di Cirié nel tratto compreso tra l'attraversamento della SP15 (a monte dell'incrocio con il Canale del Malanghero) e la confluenza nel Canale di Caselle in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

##### 5) Cava Ceretta (San Maurizio Canavese)

In presenza di un evento precipitativo con periodo di ritorno  $T = 200$  anni, il modello idraulico segnala degli allagamenti a valle della confluenza del canale di ritorno esistente nel Canale di Caselle, nel tratto iniziale della Bealera Sturetta, che coinvolgono degli edifici appartenenti alla cava di estrazione di materiali inerti in frazione Ceretta (San Maurizio Canavese).

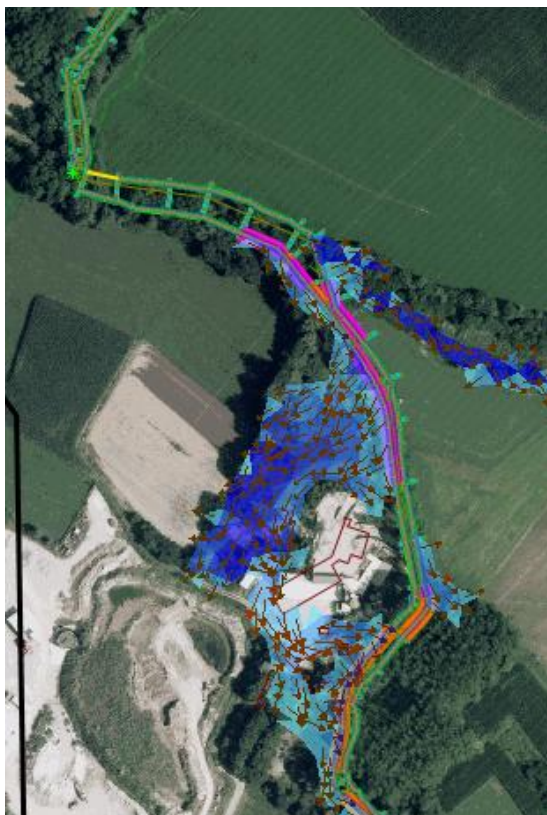


Figura 7.11 – Dettaglio del modello idraulico presso la Cava Ceretta in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.



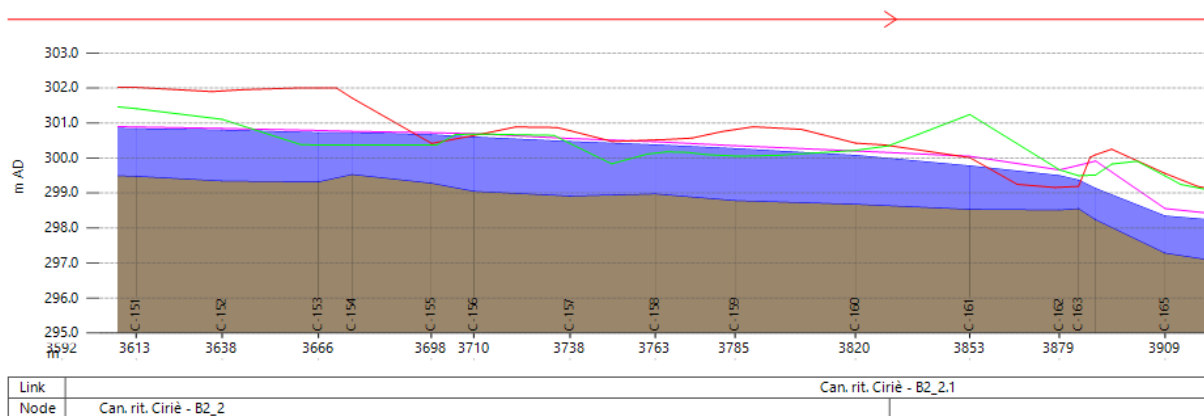


Figura 7.12 – Profilo del canale di ritorno di Cirié nei pressi della Cava Ceretta in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

### 7.1.2 Canale di ritorno del Malanghero

Al fine di progettare l'adeguamento del canale di ritorno del Malanghero a canale scolmatore di piena, dalle simulazioni idrauliche per lo scenario stato di fatto in presenza di un evento precipitativo con periodo di ritorno  $T = 200$  anni è stato possibile individuare i seguenti punti critici:

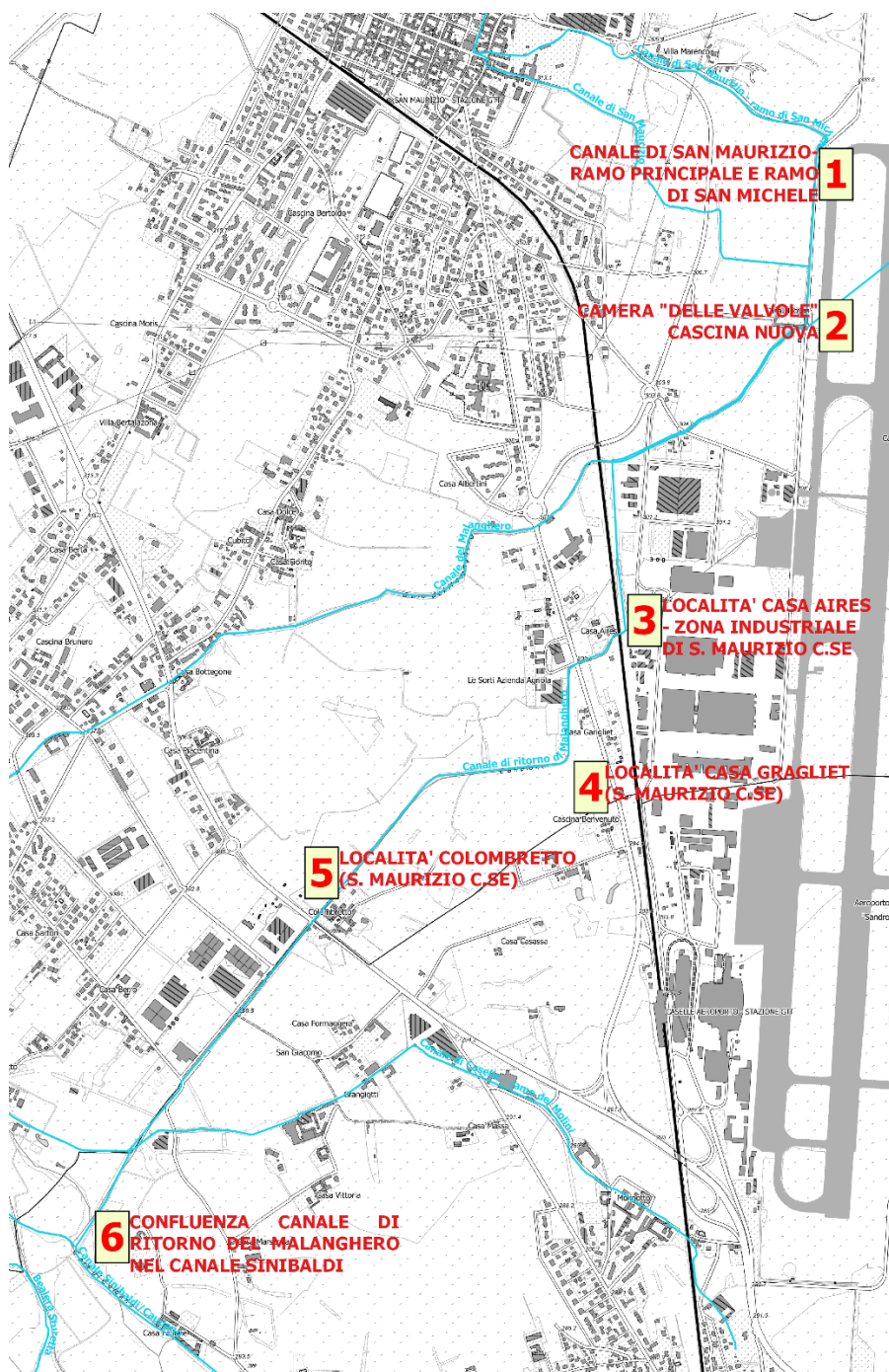


Figura 7.13 – Ubicazione dei punti critici del canale di ritorno del Malanghero su allestimento cartografico BDTRE2022.

1) Canale di San Maurizio – ramo principale e ramo di San Michele nei pressi della pista aeroportuale

In prossimità della pista aeroportuale, le dimensioni del ramo principale e del ramo di San Michele della Gora di San Maurizio non sono adeguatamente ampie per smaltire le portate al colmo di piena con periodo di ritorno duecentennale e,

talvolta, si registrano delle situazioni di criticità anche durante il transito delle portate di concessione irrigua. Le esondazioni di questi canali nello scenario di progetto, oltre a interessare alcune abitazioni di via Leini a est della rotonda tra le SP13 e le SP16 e diversi campi agricoli, coinvolgono la pista dell'Aeroporto Internazionale di Torino-Caselle. Uno scenario simile si è già verificato durante il nubifragio del 13 settembre 2008 e ha comportato numerosi disagi per il traffico aereo.

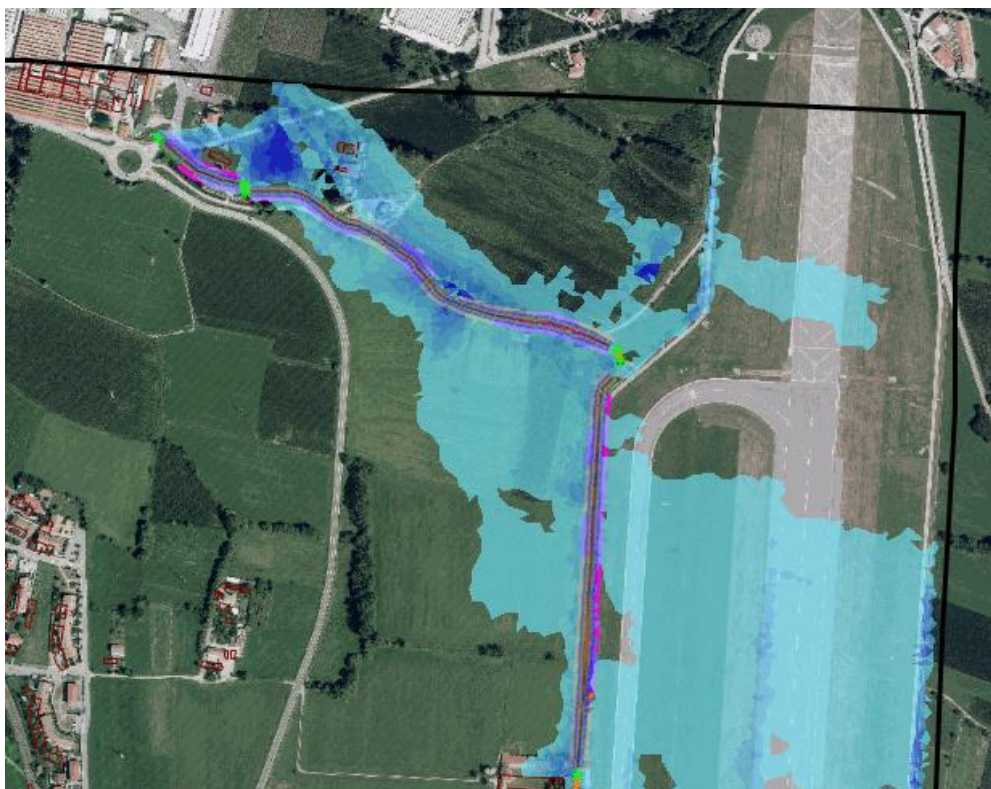


Figura 7.14 – Dettaglio del modello idraulico in corrispondenza del tratto del Canale di San Maurizio che costeggia la pista aeroportuale in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

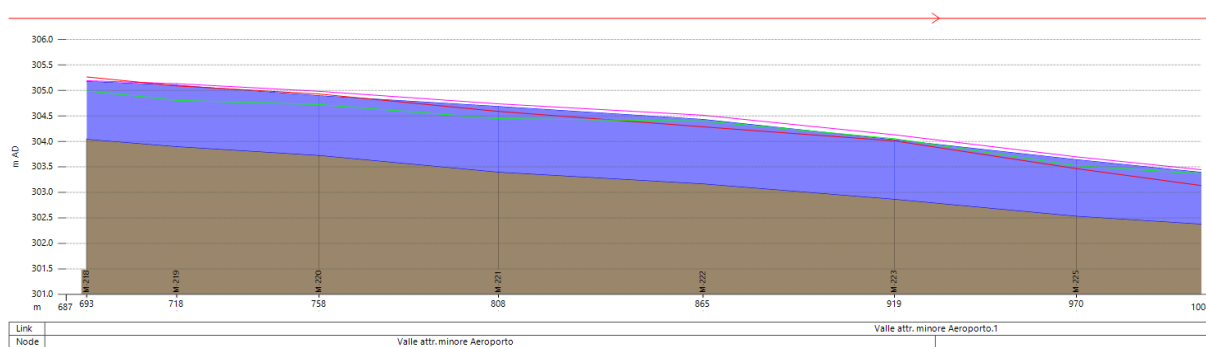


Figura 7.15 – Profilo del Canale di San Maurizio lungo il tratto che costeggia la pista aeroportuale in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

- 2) Camera detta “delle valvole” in località Cascina Nuova (San Maurizio Canavese)  
La camera detta “delle valvole”, collocata accanto a Cascina Nuova (S. Maurizio C.se), al confine con la pista dell'Aeroporto di Caselle (in Figura 7.16 rappresentata dalla lettera “A”) rappresenta il punto di confluenza tra il Canale del Malanghero e il Canale di San Maurizio. Questo manufatto permette la regolazione, attraverso un sistema di paratoie, dei flussi irrigui a valle dell'aeroporto attraverso un tratto intubato, mentre un tubo in cls, con diametro  $\phi = 1500$  mm permette di scolmare parte della portata verso la camera di distribuzione (in Figura 7.16 rappresentata dalla lettera “B”) posta a monte, in cui si diparte il canale di ritorno del Malanghero.

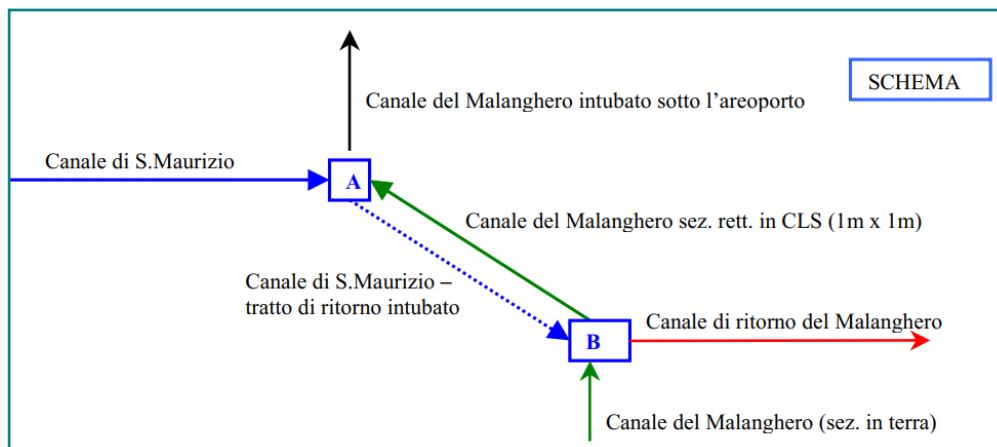


Figura 7.16 – Schema idraulico di funzionamento della camera di ripartizione posta al confine con l'Aeroporto di Torino-Caselle.

In occasione di eventi atmosferici intensi, come quello simulato mediante InfoWorks ICM, si verificano degli allagamenti che si estendono lungo la pista aeroportuale, come mostrato in Figura 7.17.



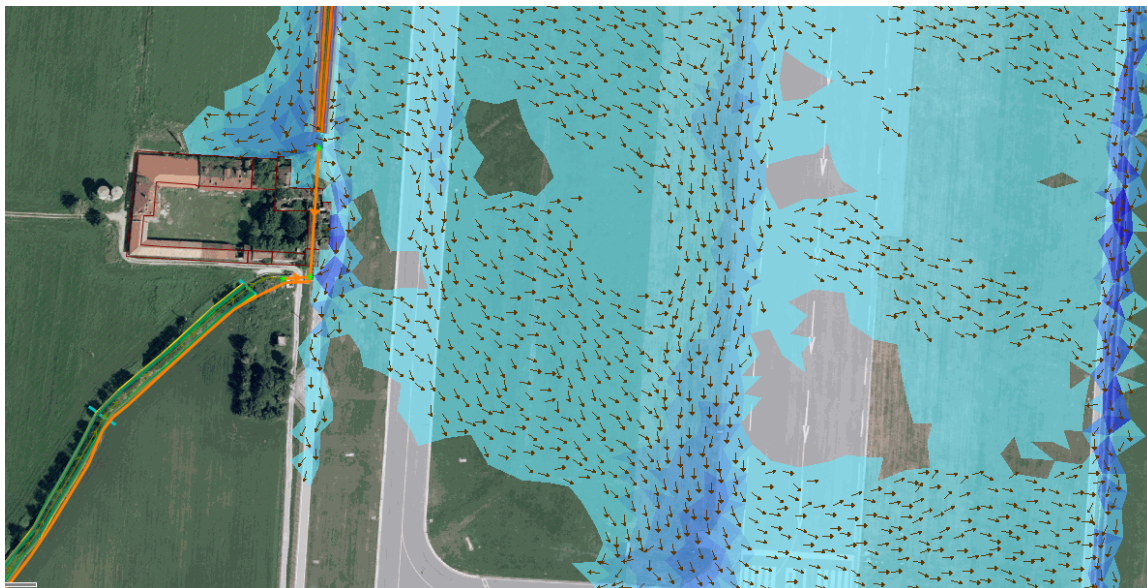


Figura 7.17 – Dettaglio del modello idraulico in corrispondenza della camera di ripartizione di Cascina Nuova in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

### 3) Località Casa Aires/Zona industriale di San Maurizio Canavese

All'uscita del tratto intubato del canale di ritorno del Malanghero, le dimensioni ridotte del canale esistente, unitamente a bassi valori di pendenza del fondo (pari a circa 0,02%) e all'inadeguatezza delle luci degli attraversamenti della ferrovia Torino-Ceres e della SP13, causano un innalzamento dei livelli idrici che è responsabile di vaste esondazioni che coinvolgono abitazioni, stabilimenti industriali, aree di pertinenza aeroportuali e la linea ferroviaria in presenza di precipitazioni molto intense, come nel caso di progetto.

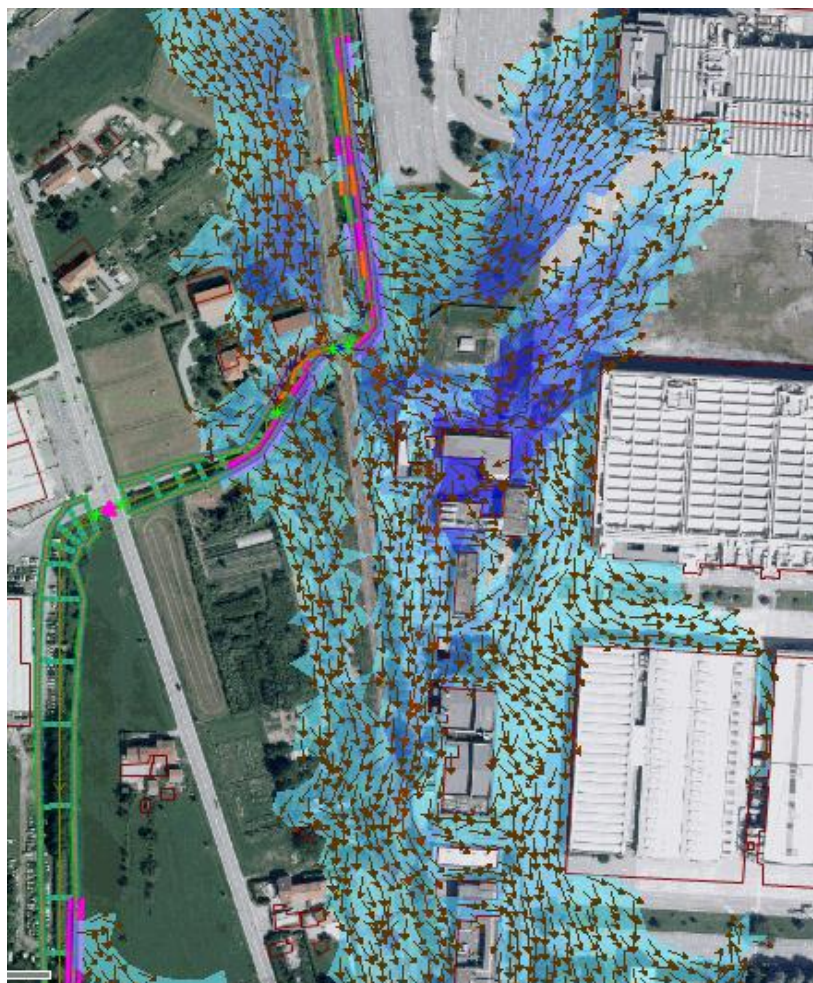


Figura 7.18 – Dettaglio del modello idraulico presso la zona industriale di San Maurizio Canavese e la località Casa Aires in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

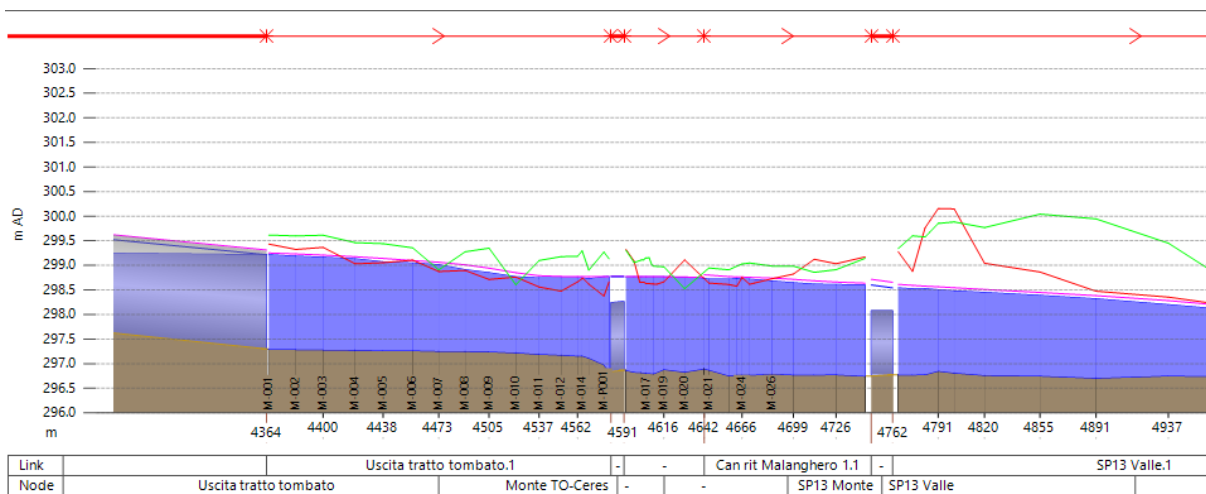


Figura 7.19 – Profilo del canale di ritorno del Malanghero lungo il tratto che costeggia la zona industriale di San Maurizio Canavese in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.



#### 4) Località Casa Gragliet (San Maurizio Canavese)

Nei pressi di località Casa Gragliet, nel territorio comunale di San Maurizio Canavese, il canale di ritorno esistente esegue una curva a 90°: in questo tratto, le basse pendenze del fondo e le ridotte altezze delle sponde, nello scenario di progetto, concorrono a generare una vasta esondazione, il cui fronte giunge a coinvolgere sia delle abitazioni in località Cascina Benvenuto (Caselle T.se) sia la SP13, che collega San Maurizio Canavese a Caselle Torinese, Torino e alla rete autostradale nazionale.

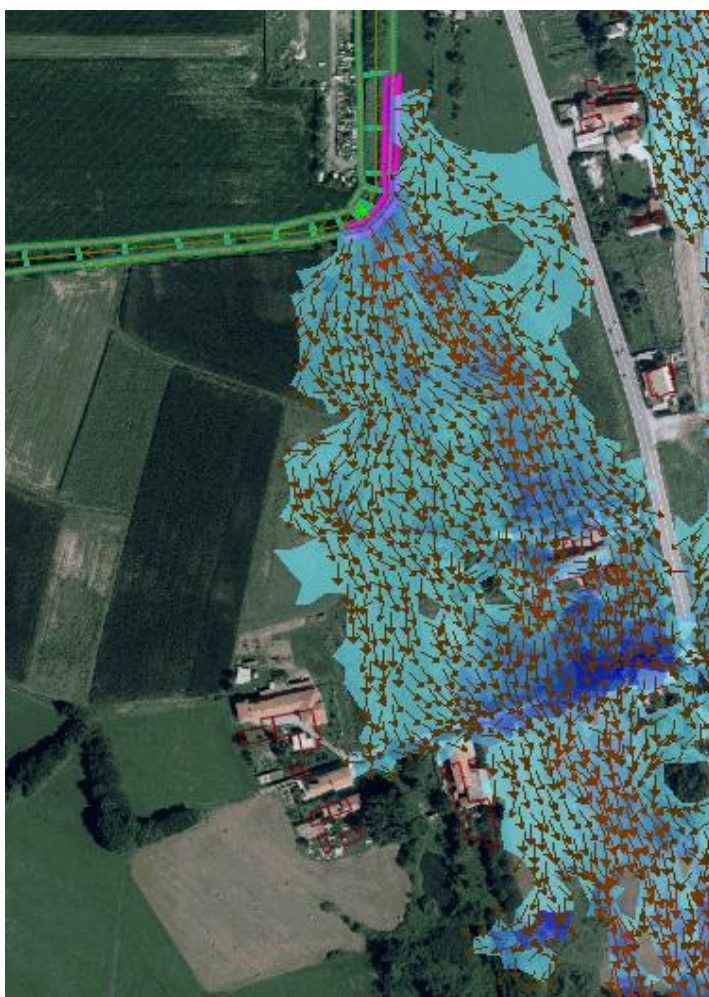


Figura 7.20 – Dettaglio del modello idraulico presso la località Casa Gragliet (San Maurizio Canavese) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

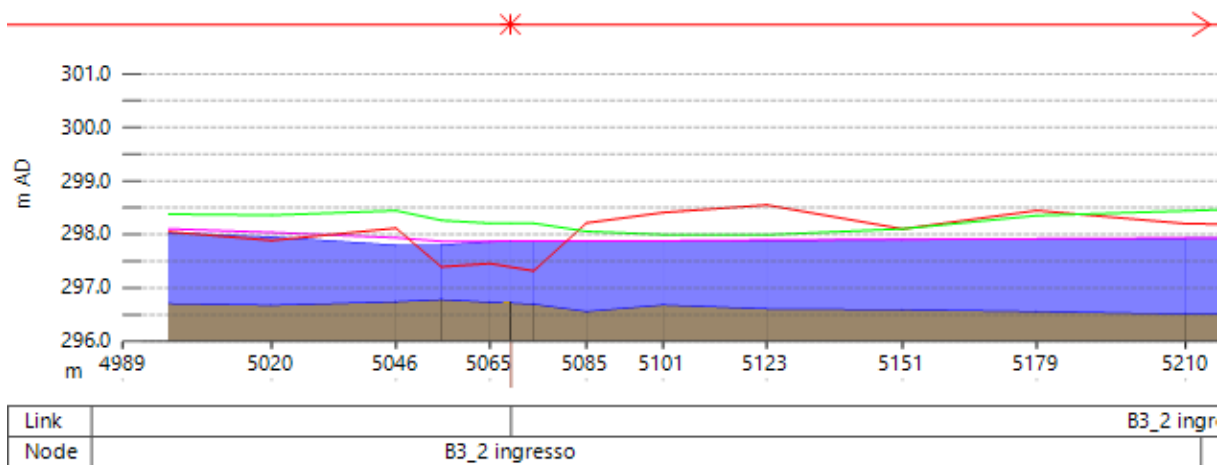


Figura 7.21 – Profilo del canale di ritorno del Malanghero in prossimità di località Casa Gragliet (San Maurizio Canavese) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.



##### 5) Località Colombretto (San Maurizio Canavese)

Il tratto a monte di località Colombretto, posta al confine tra i comuni di San Maurizio Canavese e Caselle Torinese, è caratterizzato da diverse criticità come la bassa pendenza del fondo (pari a circa 0,01%) e la presenza di una serie di ponti canale e passerelle di attraversamento che riducono l'efficienza idraulica del canale esistente e innalzano i livelli idrici. A ciò si aggiunge la presenza di un tratto di canale tombato, che costeggia il complesso residenziale di località Colombretto e sottoattraversa la SP2 delle Valli di Lanzo, le cui dimensioni non risultano sufficienti a permettere il transito delle portate di piena di progetto. Per tali motivi, il modello idraulico segnala la presenza di allagamenti che interessano abitazioni e la strada provinciale che mette in comunicazione il capoluogo piemontese alle Valli di Lanzo nello scenario stato di fatto con piena  $T = 200$  anni. All'entità di questi allagamenti contribuiscono gli apporti derivanti dall'esondazione del canale principale del Malanghero, che coinvolge prevalentemente campi agricoli ed è dovuta alla sezione della gora insufficiente a smaltire le portate duecentennali.

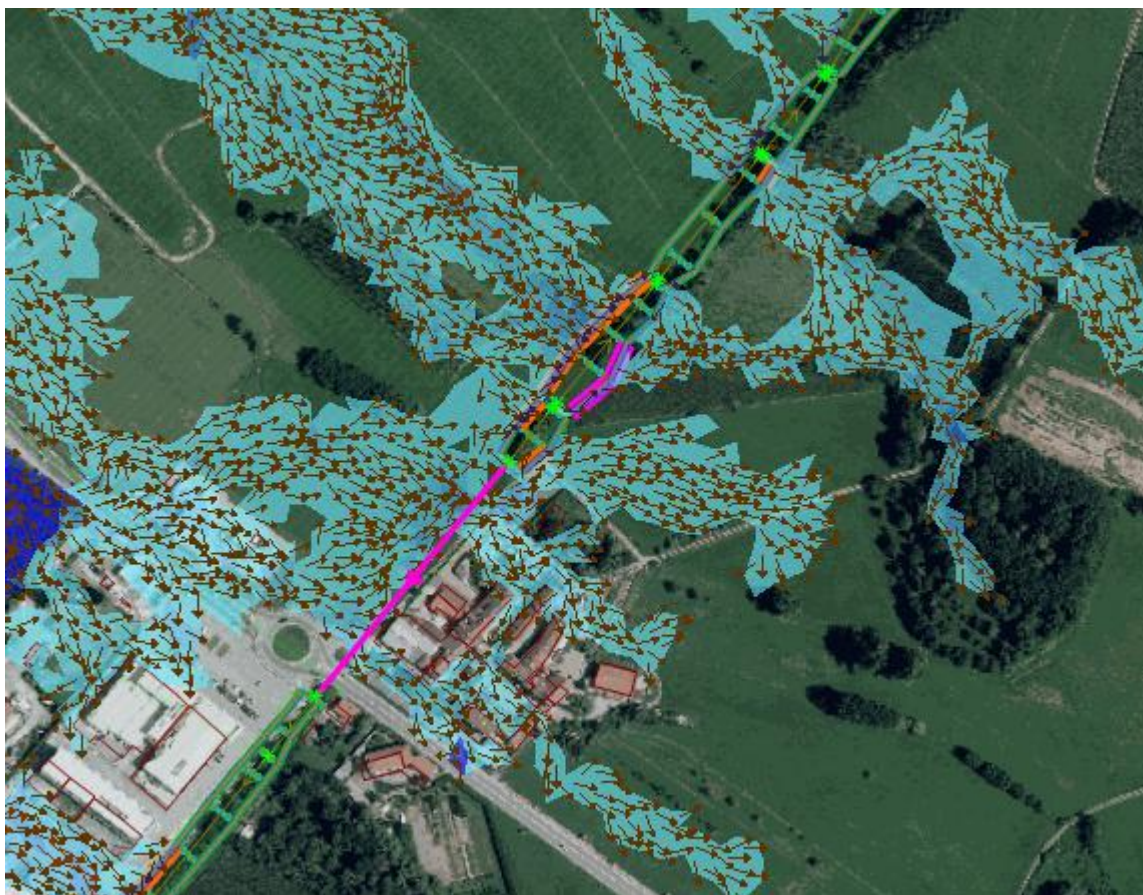
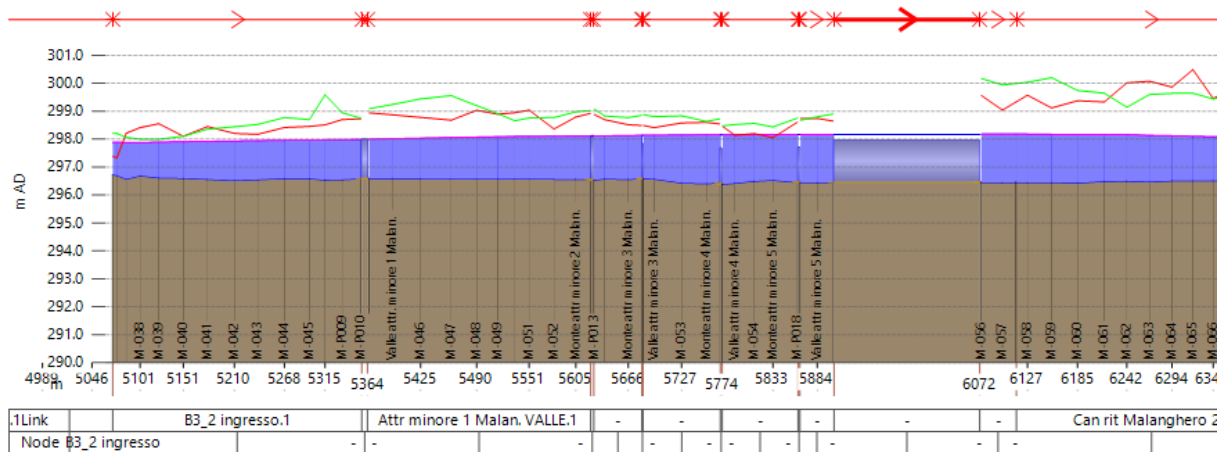


Figura 7.22 – Dettaglio del modello idraulico presso la località Colombretto (San Maurizio Canavese) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.



*Figura 7.23 – Profilo del canale di ritorno del Malanghero in prossimità di località Colombretto (San Maurizio Canavese) in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.*

6) Confluenza del canale di ritorno del Malanghero nel Canale Sinibaldi/Caudano

Allo stato attuale, il canale di ritorno del Malanghero sfocia nel Canale Sinibaldi/Caudano, garantendo la disponibilità idrica per usi irrigui nei settori agricoli di valle. In caso di un evento alluvionale come quello simulato in InfoWorks ICM, le portate in eccesso nel Canale Sinibaldi, che ha ricevuto a monte gli apporti di piena del canale di ritorno di Cirié, straripano andando a interessare diverse località del comune di Caselle Torinese (Casa Follone, Case San Silvestro), gli stabilimenti industriali di viale Alcide Bona e lo stesso capoluogo comunale.





Figura 7.24 – Dettaglio del modello idraulico presso la confluenza del canale di ritorno del Malanghero nel Canale Sinibaldi in presenza di un evento di piena duecentennale per lo scenario stato di fatto.

## 7.2 Individuazione degli interventi prioritari

Gli interventi in progetto hanno l'obiettivo di mettere in sicurezza sia le località immediatamente antistanti le zone soggette ad intervento, sia le località a valle delle stesse, poiché la realizzazione di interventi di scarico delle portate di piena all'interno del torrente Stura di Lanzo induce un alleggerimento delle portate transitanti nella rete di canali irrigui.

Come dettagliatamente esplicitato nella relazione generale, i fondi a disposizione risultano essere inferiori alla spesa stimata nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica per la completa realizzazione delle opere in progetto. A tal proposito si è resa necessaria una valutazione delle priorità di intervento basata sulla riduzione del rischio che la realizzazione dell'opera comporta. In particolar modo questa analisi è stata effettuata considerando tutti i fattori che compongono l'equazione del rischio, di seguito esplicitata.

$$R = P \times D \quad (29)$$

In cui:

- $P$ : pericolosità dell'evento – rappresenta la probabilità del manifestarsi di un evento;
- $D$ : danno recato dall'evento – rappresenta il danno potenziale generato dall'evento.

Al fine dell'individuazione delle priorità di realizzazione dei sotto-tratti in progetto si è fatto riferimento alla situazione in stato di fatto, nella quale si sono valutate le aree esondabili in termini di delimitazione dell'area allagata ed altezza idrica. Tali quantità, combinate tra loro, hanno contribuito a determinare la pericolosità, suddivisa in tre classi così definite:

- P1: tiranti idrici compresi tra 0m e 0.10m;
- P2: tiranti idrici compresi tra 0.10m e 0.50m;
- P3: tiranti idrici maggiori di 0.50m.

Per la valutazione del danno si sono considerati due differenti elementi: il danno causato nelle immediate vicinanze ed il danno causato a valle del tratto di interesse. Per la valutazione del danno riscontrato dagli elementi esposti nelle immediate vicinanze si sono decretati i punteggi di danno per ogni sotto-tratto in progetto in funzione della categoria di suolo colpito. In particolar modo si sono distinte le aree soggette a danno secondo tre differenti categorie: aree agricole, aree urbanizzate ad uso civile ed aree urbanizzate di tipo industriale. Considerando nello specifico ogni singolo sotto-tratto si sono definiti quattro punteggi di danno con gravità crescente, di seguito elencati:



- $D1_{loc}$ : aree a vocazione agricola – punteggio 1;
- $D2_{loc}$ : aree a vocazione agricola con edifici isolati – punteggio 2;
- $D3_{loc}$ : aree urbanizzate di tipo civile o industriale – punteggio 3;
- $D4_{loc}$ : aree densamente urbanizzate o strategiche dal punto di vista infrastrutturale – punteggio 4.

Per quanto concerne la valutazione dei punteggi di danno potenziale a valle del tratto di interesse si è seguito un criterio simile a quanto fatto per le zone nelle immediate vicinanze, andando a considerare se le zone a valle fossero intaccate dall'esondazione e, qualora lo fossero, in quale categoria di suolo rientrino. I punteggi derivanti da tale analisi risultano essere:

- $D1_{val}$ : aree a valle non intaccate dall'esondazione – punteggio 1;
- $D2_{val}$ : aree a vocazione agricola con edifici isolati – punteggio 2;
- $D3_{val}$ : aree urbanizzate di tipo civile o industriale – punteggio 3;
- $D4_{val}$ : aree densamente urbanizzate o strategiche dal punto di vista infrastrutturale – punteggio 4.

Al fine di ottenere un danno potenziale univoco si è deciso di ricavare il punteggio finale tramite media aritmetica dei due punteggi di danno definiti in precedenza. Così facendo si ottengono i quattro punteggi di danno, classificati in ordine crescente come segue:

- $D1$ : danno lieve;
- $D2$ : danno moderato;
- $D3$ : danno elevato;
- $D4$ : danno molto elevato.

Avendo definito tutti i parametri di pericolosità e di danno per ogni tratto soggetto ad intervento è possibile combinarli per definire i punteggi di rischio, determinando così la matrice del rischio.

Tabella 15 – Matrice del rischio

Matrice del rischio		Danno			
		D1	D2	D3	D4
Probabilità	P1	R1	R2	R3	R3
	P2	R2	R2	R3	R4
	P3	R3	R3	R3	R4

Dalla tabella precedente si nota come siano definite quattro livelli di rischio:

- $R1$ : rischio lieve;
- $R2$ : rischio moderato;

- R3: rischio elevato;
- R4: rischio molto elevato.

Si precisa che tratti con punteggio di rischio elevato indicano tratti che, a seguito della realizzazione delle opere in progetto, contribuiscono in maniera significativa alla mitigazione del rischio alluvionale, sia nelle immediate vicinanze sia in aree a valle. Da queste valutazioni ne consegue che, vista la somma disponibile per la realizzazione delle opere, è possibile determinare gli interventi cruciali da effettuare per la mitigazione del rischio alluvionale derivante dal sistema di canali irrigui. Nella figura seguente vengono riportati i risultati dell'analisi precedentemente dettagliata.

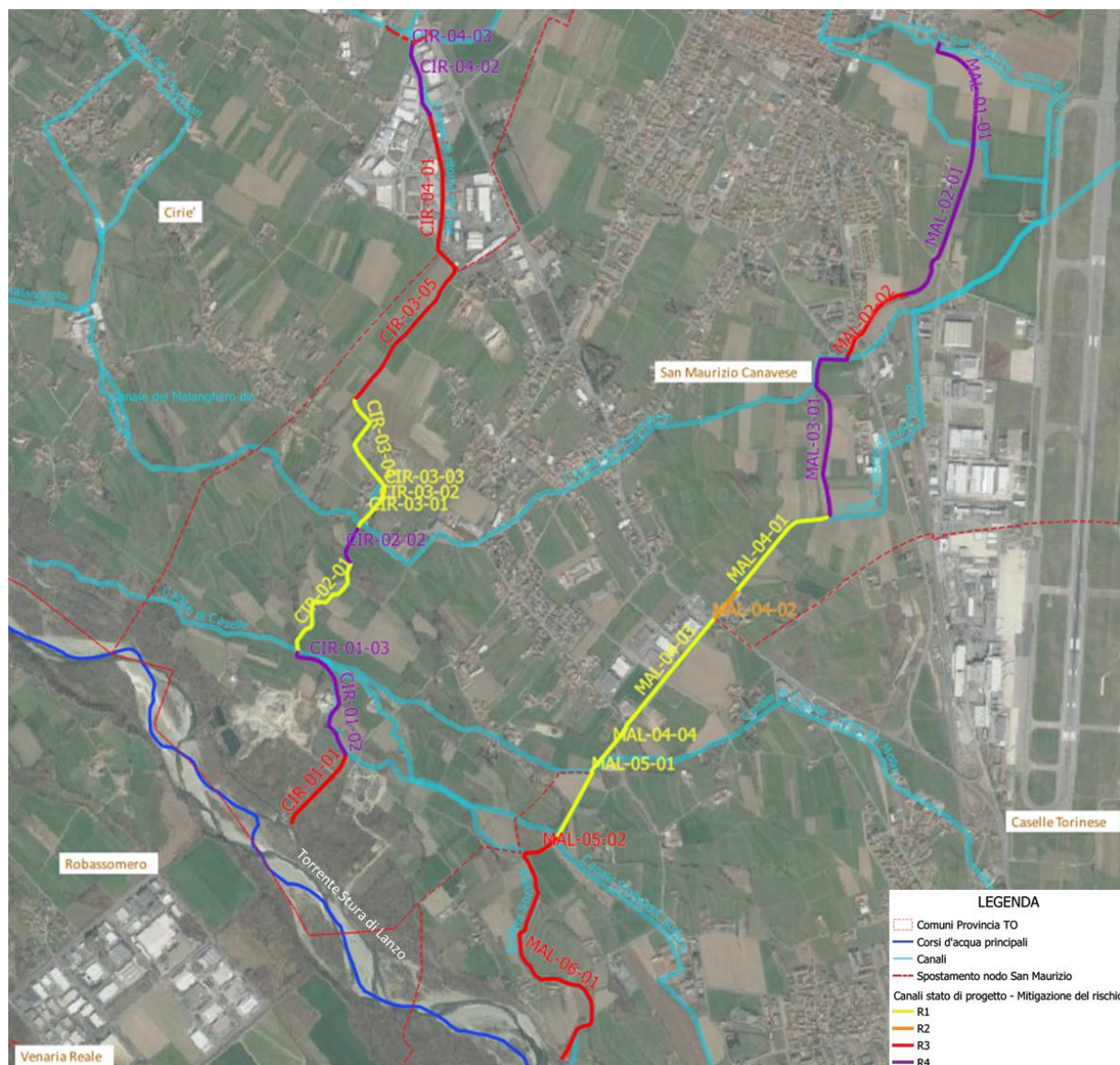


Figura 7.25 – Rappresentazione grafica del risultato di analisi di rischio per i canali soggetti a studio.

Analizzando i risultati ottenuti in termini di rischio è possibile individuare gli interventi prioritari per la mitigazione del rischio idraulico sia nei territori interessati dall'intervento sia nelle località a valle degli stessi. A tal proposito, si è individuato il **canale di ritorno di Cirié** come elemento cardine per effettuare un primo step nella mitigazione degli effetti indotti da eventi meteorici intensi, con particolare attenzione ai tratti caratterizzati da maggiore rischio. Più in dettaglio, si sono individuati i tratti descritti in seguito:

1. **Tratto CIR-04-03** – tale tratto risulta fondamentale in quanto in esso insiste il nodo idraulico generato dal canale di ritorno di Cirié e dal canale di San Maurizio, cruciale per la regolazione delle portate sia in condizioni irrigue sia in condizioni di piena. In tale area è presente una zona industriale, per cui l'allagamento di tale area risulta essere particolarmente gravoso;
2. **Tratti CIR-02-02 e CIR-02-01** – tali tratti risultano fondamentali in quanto a valle del nodo idraulico formato dall'intersezione del canale di ritorno di Cirié e della gora del Malanghero. In particolare, il convogliamento delle portate di piena attraverso questi tratti bloccando le portate transitate all'interno della gora del Malanghero assume notevole importanza per la riduzione delle portate transitate nella frazione Ceretta (San Maurizio Canavese) e nella zona dell'aeroporto internazionale Sandro Pertini;
3. **Tratti CIR-01-03, CIR-01-02, CIR-01-01** – tali tratti assumono un ruolo cruciale per la mitigazione del rischio alluvionale in quanto permettono l'allontanamento delle portate di piena derivanti dal canale di Caselle e dal canale di ritorno di Cirié direttamente all'interno del torrente Stura di Lanzo. La realizzazione di questi tratti induce notevoli vantaggi per la mitigazione del rischio idraulico per il comune di Caselle Torinese.

In questa relazione si tratteranno solamente gli interventi localizzati nel Comune di San Maurizio Canavese, ovvero quelli riportati nei punti 2, 3 dettagliati in precedenza.

## 7.3 Stato di progetto

Dopo aver individuato ed analizzato le diverse criticità presenti lungo i tracciati attuali dei canali di ritorno di Cirié e del Malanghero, si è passati alla definizione delle scelte progettuali per la mitigazione del rischio idraulico nei territori comunali di Caselle Torinese, Cirié e San Maurizio Canavese. Come esplicitato nel paragrafo precedente, è emersa l'urgenza di scaricare le portate di piena all'interno del torrente Stura di Lanzo intercettando il Canale del Malanghero ed il Canale di Caselle con notevoli benefici principalmente per i comuni di San Maurizio Canavese (frazione Ceretta) e di Caselle Torinese, dell'area aeroportuale di Torino-Caselle ma anche per i comuni posti più a valle (Borgaro Torinese e Leini).

Data la limitatezza di fondi a disposizione per la realizzazione di tali opere, la progettazione degli interventi si è focalizzata sui tratti prioritari elencati in precedenza.

A tal proposito, la fase di progettazione dei singoli tratti è stata effettuata considerando la realizzazione della totalità degli interventi, secondo quanto dettagliato nel Progetto di Fattibilità Tecnico Economica. Così facendo, l'intervento in progetto si presta ad essere completato con gli interventi non soggetti a questa progettazione, ottenendo come risultato finale la completa messa in sicurezza del territorio sia a ridosso degli interventi sia nei comuni situati a valle.

Si precisa che gli interventi oggetto di questa progettazione risultano essere adeguati per il convogliamento delle portate di piena nelle condizioni attuali, mitigando così il rischio idraulico. L'importanza della realizzazione di questi interventi risiede nel garantire il controllo delle portate transitate all'interno dei nodi idraulici del canale di ritorno di Cirié in modo tale da poterle scaricare nello Stura di Lanzo in caso di piena, alleggerendo così la gora del Malanghero ed il canale di Caselle.

Come già anticipato nella premessa, l'intervento in progetto, oltre a ridurre il rischio idraulico durante eventi precipitativi intensi, garantirà maggiore flessibilità del sistema di approvvigionamento idrico durante la stagione irrigua. Infatti si prevede l'installazione di paratoie motorizzate movimentabili a seconda dell'esigenza. Questi sistemi saranno dotati di un sistema di misura delle portate collegato al sistema centrale di gestione del Consorzio Riva Sinistra Stura, gestore della rete di canali di interesse.

La progettazione dei canali scolmatori è stata effettuata rispettando i seguenti requisiti:

- mantenendo la quota del fondo dei canali attuali nei tratti in cui sono presenti le utenze irrigue, in modo tale da garantire la derivazione delle acque per l'irrigazione dei campi agricoli;
- dimensionando le sezioni dei canali affinché siano in grado di far defluire le portate di piena con periodo di ritorno duecentennale assicurando un franco idraulico minimo pari a 0.50m rispetto alla sommità delle sponde;
- definendo delle sezioni che riducano, ove possibile, il consumo di suolo agricolo e gli espropri;
- prevedendo dei rivestimenti delle sezioni che permettano l'integrazione delle opere con il paesaggio circostante e che limitino sia i costi che il numero degli interventi di manutenzione da effettuare nel tempo.

In questa fase di progettazione si sono effettuate molteplici analisi sulle sezioni dei canali soggetti ad intervento al fine di ridurre la larghezza proposta con la progettazione di fattibilità tecnico-economica.

Nei paragrafi successivi verranno presentati i dettagli delle sezioni di progetto ed i risultati delle simulazioni idrauliche per il canale di ritorno di Cirié nello stato di progetto.



### 7.3.1 Canale scolmatore di Cirié

I tratti di intervento fanno tutti riferimento al Canale di ritorno di Cirié. In particolare si prevede di intervenire sui tratti localizzati nel Comune di San Maurizio Canavese:

1. CIR-02-02 e CIR-02-01;
2. CIR-01-03, CIR-01-02 e CIR-01-01.

#### 7.3.1.1 Stralcio 2

Lo Stralcio 2 comprende gli interventi di potenziamento del canale di ritorno di Cirié tra la gora del Malanghero ed il canale di Caselle. Al fine di dimensionare correttamente e a favore di sicurezza le opere da realizzare nei tratti **CIR-02-02** e **CIR-02-01**, nel modello idraulico è stato ipotizzato che i contributi di piena della gora del Malanghero siano interamente intercettati dal canale scolmatore di Cirié.

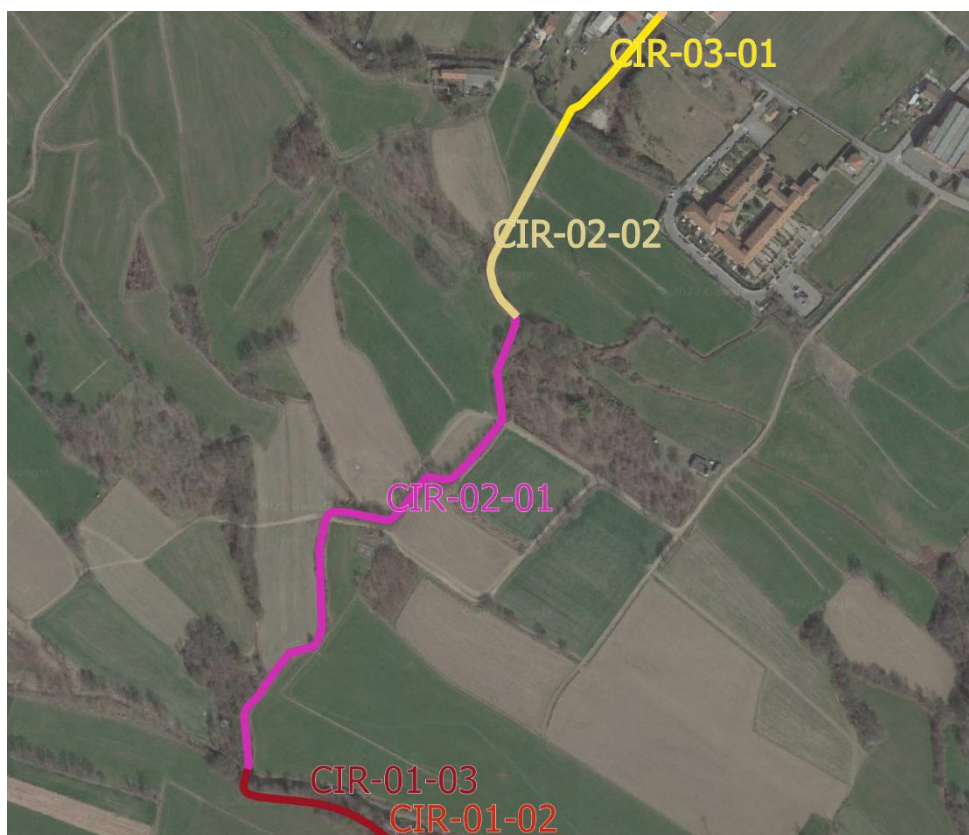


Figura 7.26 – Stralcio 2 del canale scolmatore di Cirié.

Il tratto **CIR-02-02** si trova immediatamente a valle del nodo idraulico formato dall'intersezione tra il canale di ritorno di Cirié ed il canale del Malanghero: per garantire il deflusso delle portate di piena interamente all'interno del canale di ritorno di Cirié è prevista l'installazione di un sistema di paratoie aventi funzionamento analogo a quanto esplicitato per il nodo idraulico formato dall'intersezione tra il canale di ritorno di Cirié ed

il canale di San Maurizio: in caso di raggiungimento del livello di soglia impostato a priori la paratoia del canale del Malanghero dovrà essere totalmente abbassata, mentre quella del canale di ritorno di Cirié dovrà essere consentire il flusso. Le paratoie saranno in acciaio zincato e la loro movimentazione sarà di tipo oleodinamico. In caso di assenza di energia la movimentazione sarà garantita da un sistema meccanico a contrappeso. Tali opere avranno le seguenti dimensioni:

- Canale di ritorno di Cirié: paratoia totalmente sollevata per garantire il flusso nel canale scolmatore – dimensioni paratoia:  $B = 6.00m \times H = 0.50m$ ;
- Gora del Malanghero: paratoia a semplice effetto totalmente chiusa per alleggerire la Gora del Malanghero dalla portata di piena – dimensioni paratoia:  $B = 5.00m \times H = 1.80m$ .

Inoltre, siccome i flussi dei due canali all'intersezione risultano essere ortogonali, si prevede la realizzazione di uno sfioratore laterale a monte del nodo idraulico per agevolare la derivazione della portata dal canale del Malanghero all'interno del canale scolmatore di Cirié. Tale sfioratore sarà composto da una soglia sfiorante avente lunghezza di  $L = 20\ m$ , la quale si attiverà quando il tirante idrico supererà la sua altezza, fissata ad  $H = 0.75\ m$ . In Figura 7.27 si riporta una planimetria dell'intervento in progetto.

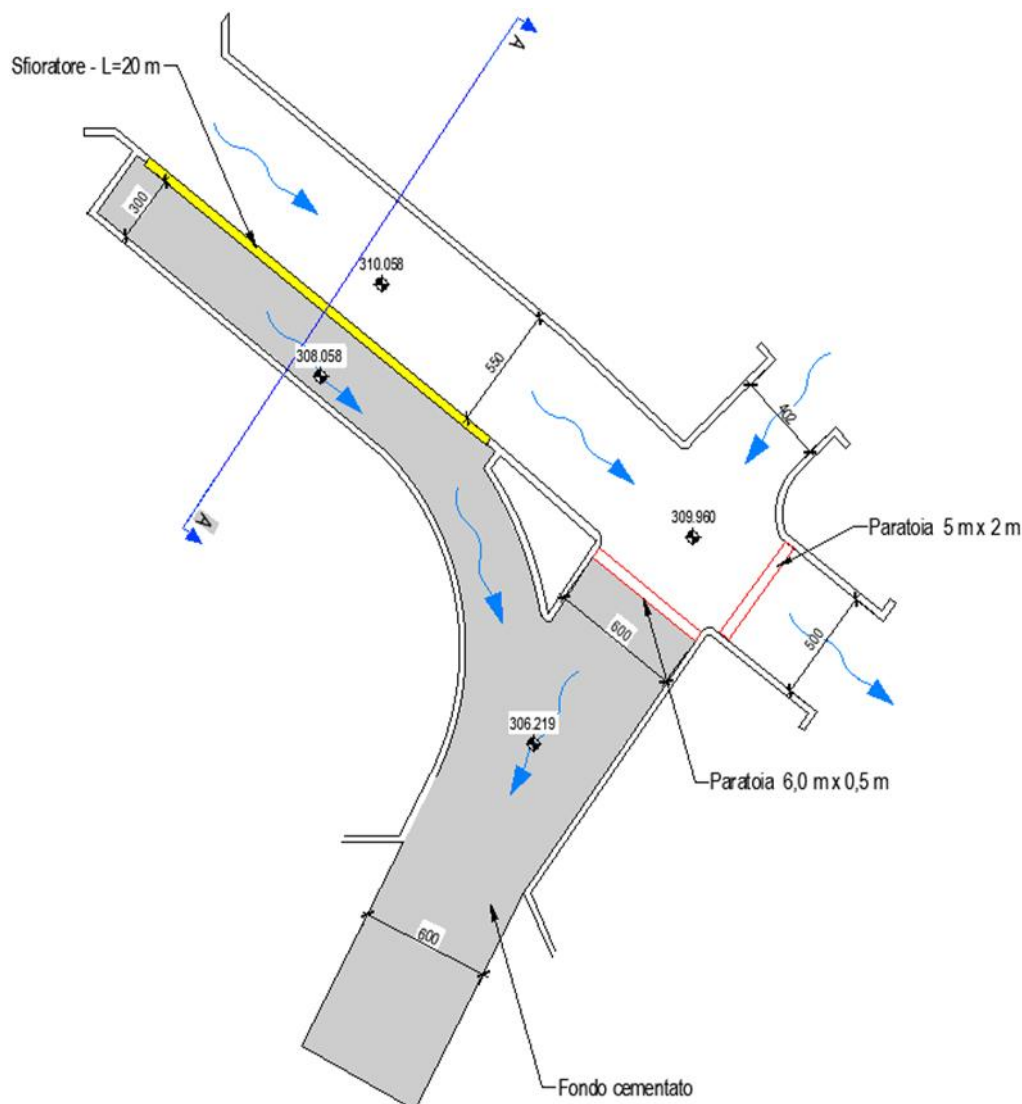


Figura 7.27 – Planimetria di dettaglio del nodo idraulico formato dall'intersezione del canale di ritorno di Cirié ed il canale del Malanghero.

A seguito del nodo idraulico precedentemente descritto si trova il tratto **CIR-02-02**, di lunghezza pari a 190 m, ed il tratto **CIR-02-01** avente una lunghezza di 575 m, i quali saranno realizzati con una sezione composta delle dimensioni riportate nella Figura 7.28. Il tratto totale rientrante nello **Stralcio 2** ha una pendenza media pari a -0.87%. In entrambi i tratti presenti in tale stralcio le sponde della sezione rettangolare (la cui altezza è indicata come “h” nella sezione tipologica sotto riportata) saranno realizzate con gabbionate rinverdite, al fine di garantire una migliore armonia con il paesaggio circostante, mentre il fondo sarà naturale e regolarizzato grazie alla presenza di soglie in cls ad un interasse di 100 m per mitigare i fenomeni erosivi dovuti alla corrente. Siccome non vi è presenza di derivazioni irrigue in questi tratti, si riprofilerà il terreno gradualmente al fine di permettere il transito della portata di progetto utilizzando un'estensione areale

minore possibile, riducendo così le aree di esproprio.

Si prevede la realizzazione di un'arginatura in sinistra idrografica in materiale naturale compattato di altezza 1.10m rispetto al piano campagna. Il materiale utilizzato per questa opera sarà materiale di riutilizzo proveniente dagli scavi per la realizzazione del canale in progetto. La presenza di tale rilevato non influenzerà il corretto drenaggio delle acque meteoriche all'interno del canale, in quanto il natural declivio dell'area di interesse va da ovest verso est. L'arginatura in questione svolgerà la funzione di protezione da esondazione degli abitati e dei terreni situati a valle. Si precisa inoltre che tale opera non verrà interessata dalla piena di progetto ed assume una funzione di sicurezza ulteriore rispetto alla sezione progettuale. A margine di quest'opera, in sinistra idrografica sarà prevista una pista di manutenzione in materiale naturale di riutilizzo proveniente dagli scavi, previo scotico dello strato di coltura presente. In Figura 7.28 si riporta la sezione tipologica di progetto dei tratti presenti all'interno dello **Stralcio 2** attinenti all'intervento nella sua completezza (si faccia riferimento all'apposita tavola per le dimensioni associate ai differenti tratti).

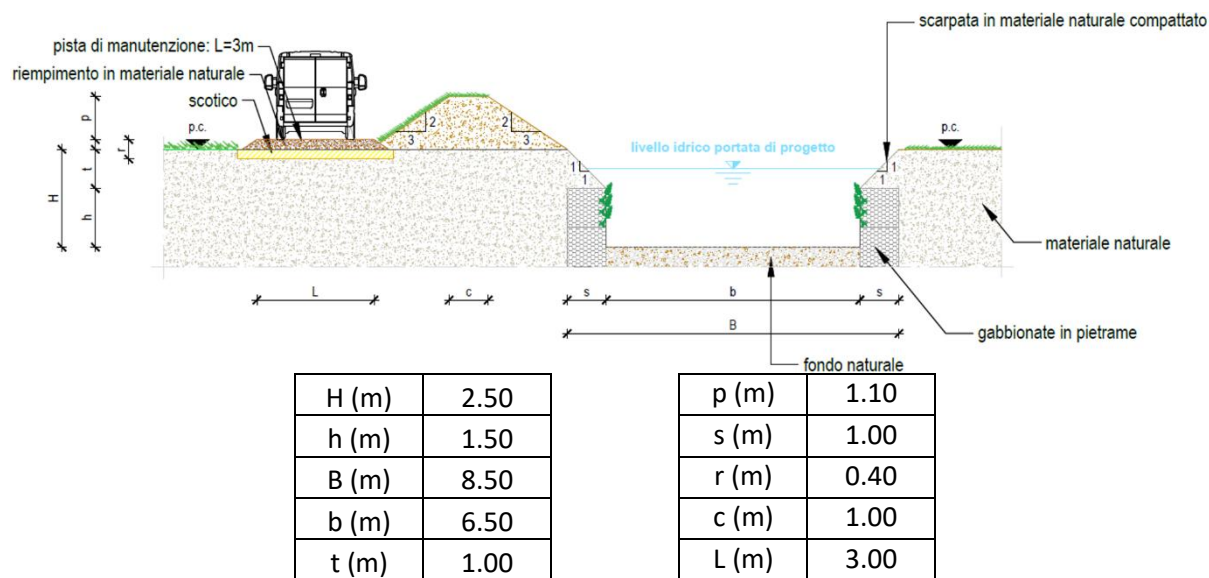


Figura 7.28 – Sezione tipologica di progetto dei tratti CIR-02-02 e CIR-02-01.



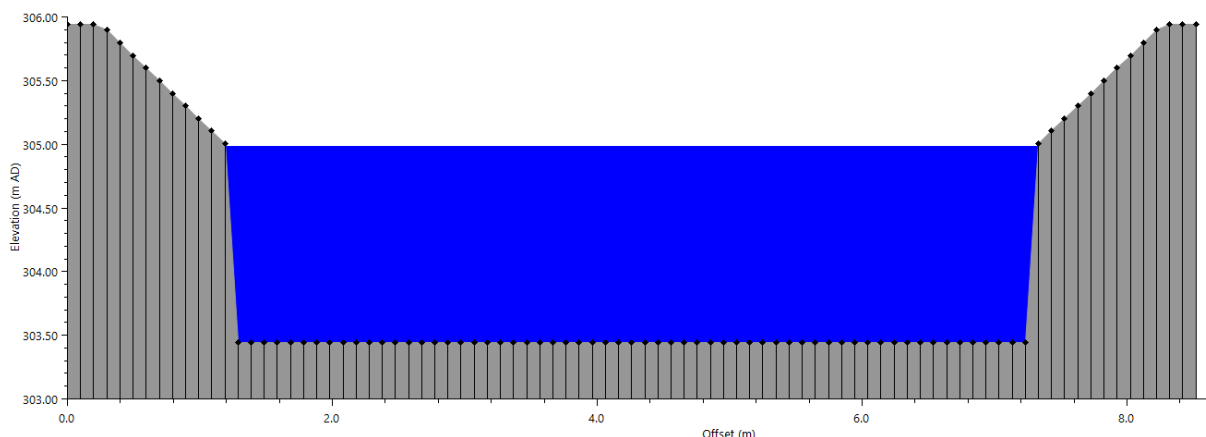


Figura 7.29 – Esempio di sezione del tratto “CIR-02-02”. Il livello idrico rappresentato corrisponde al tirante verificatosi in corrispondenza della piena di progetto (T = 200 anni).

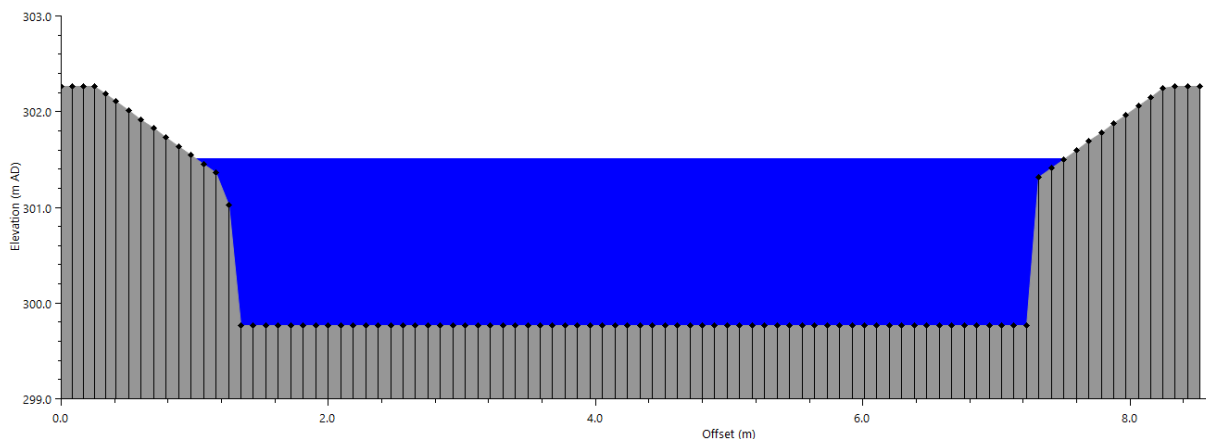


Figura 7.30 – Esempio di sezione del tratto “CIR-02-01”. Il livello idrico rappresentato corrisponde al tirante verificatosi in corrispondenza della piena di progetto (T = 200 anni).

Dalle simulazioni idrauliche condotte per lo stato di progetto con uno scenario di piena con periodo di ritorno di 200 anni (rappresentate in Figura 7.29 e Figura 7.30), deriva che le scelte progettuali adottate sono adeguate per consentire il transito dei contributi di piena provenienti dal canale di ritorno di Cirié e dal canale del Malanghero senza che sia incrementato il rischio idraulico nei territori appartenenti allo Stralcio 2, inducendo anche una riduzione del rischio idraulico a valle, diminuendo la portata transitante all'interno della “camera delle valvole”, localizzata in zona limitrofa all'aeroporto Torino-Caselle.

In Figura 7.31 si riporta il risultato della simulazione idraulica nello scenario di progetto in planimetria per l'estensione dello Stralcio 2, da cui è possibile notare come non vi sia esondazione.



Figura 7.31 – Risultato della simulazione idraulica nello scenario di progetto per lo Stralcio 2 del canale scolmatore di Cirié.

### 7.3.1.2 Stralcio 1

Lo Stralcio 1 racchiude gli interventi in progetto tra il canale di Caselle e la confluenza nello Stura di Lanzo.



Figura 7.32 – Stralcio 1 del canale scolmatore di Cirié.

Essi consistono in primo luogo nell'adeguamento del nodo idraulico generato dall'intersezione tra il canale di ritorno di Cirié ed il canale di Caselle, costituito da protezioni spondali in scogliera a secco. Le sponde in corrispondenza del nodo idraulico verranno rivestite in scogliera a secco, come riportato in Figura 7.33 e Figura 7.34. La sezione riportata in Figura 7.35 è esemplificativa dell'intervento da realizzare: per le sezioni dettagliate di tutti i tratti di interesse si rimanda alla tavola grafica di riferimento. Successivamente il tracciato del canale scolmatore prevede lo sfruttamento di un tratto del canale di Caselle (**CIR-01-03**), dal nodo idraulico con il canale di Caselle all'immissione nella Bealera Sturetta, che avrà il compito di intercettare le portate provenienti dal canale di Caselle con grandi benefici per gli abitati di Caselle T.se e Borgaro T.se. Tale tratto, lungo 140 m, avrà una pendenza media del fondo di -0,45%; la

sezione rimarrà la medesima di quella attuale (Figura 7.35), regolarizzando la sommità delle sponde ove si rendesse necessario in fase di esecuzione delle opere. Per tale regolarizzazione è stato previsto uno spessore di 0.30m su entrambe le sponde del canale, utilizzando parte del materiale scavato per la realizzazione degli altri tratti di canale.

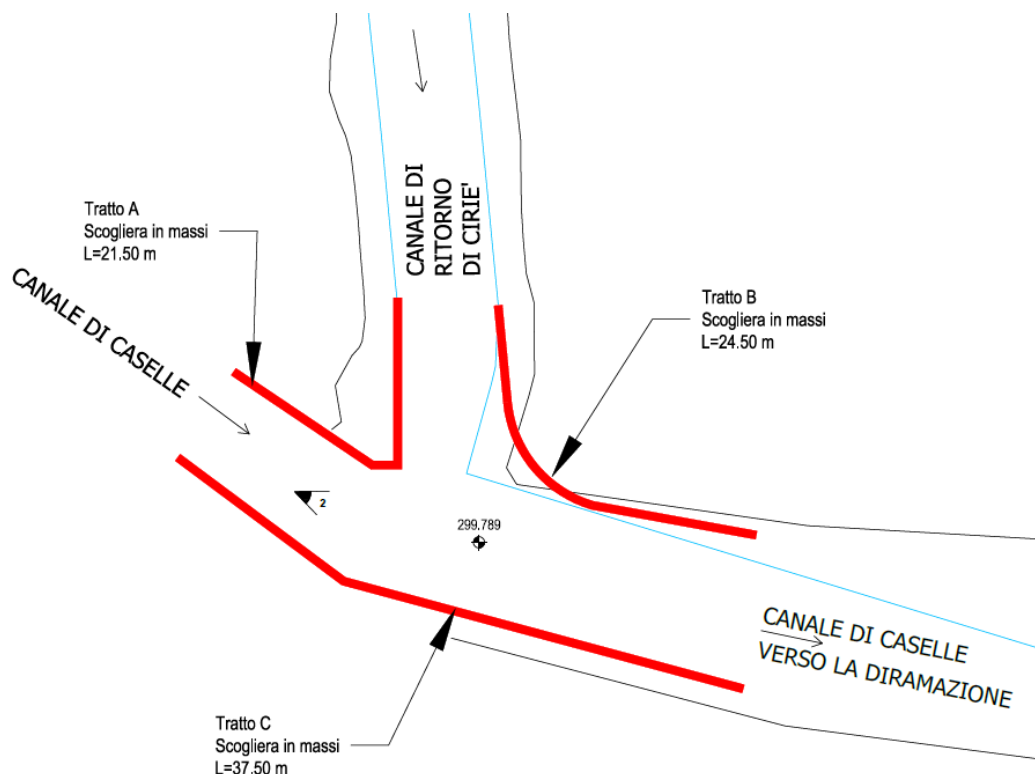


Figura 7.33 – Planimetria di dettaglio del nodo idraulico formato dall'intersezione della Bealera Sturetta ed il canale scolmatore di Cirié.



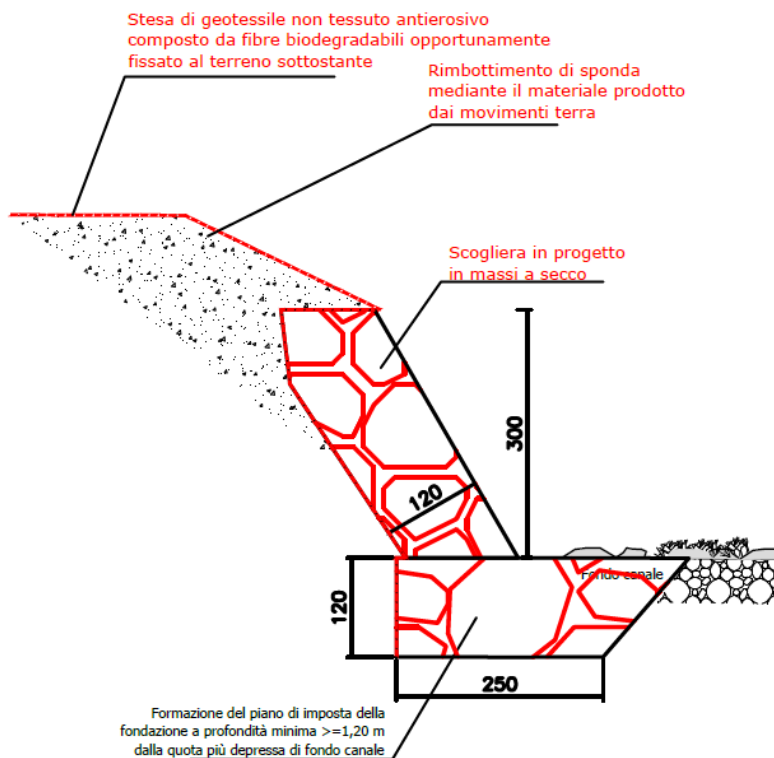


Figura 7.34 – Sezione tipologica della parte iniziale del tratto “CIR-01-03” in corrispondenza del nodo idraulico formato dalla confluenza tra il canale di ritorno di Cirié ed il canale di Caselle.

### Sezione tipologica Canale di Caselle

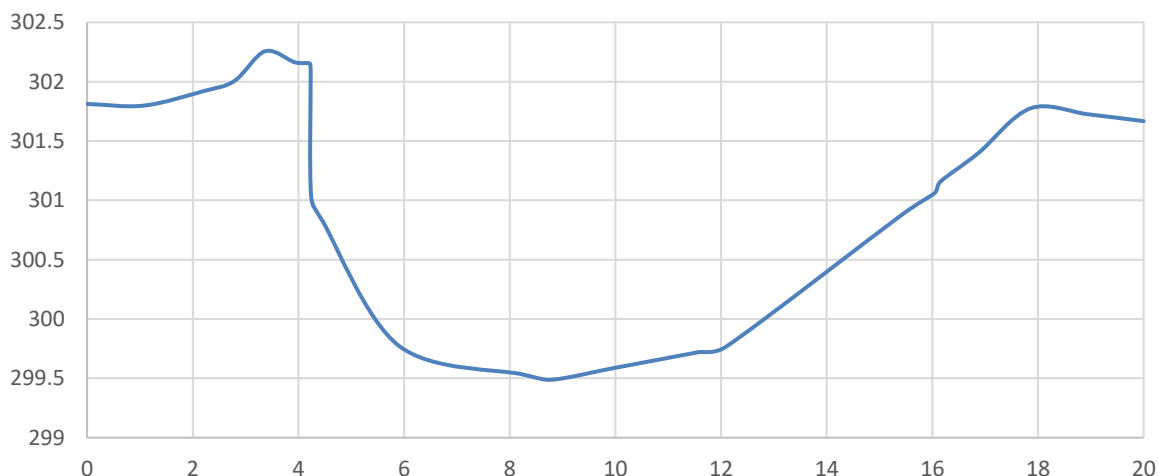


Figura 7.35 – Sezione tipologica del Canale di Caselle nel tratto del canale scolmatore CIR-01-03.

Il risultato della simulazione idraulica rappresentato dalla Figura 7.36 mostra come la portata di progetto duecentennale risulta confluire interamente all'interno del canale di Caselle, evitando fenomeni di esondazione.

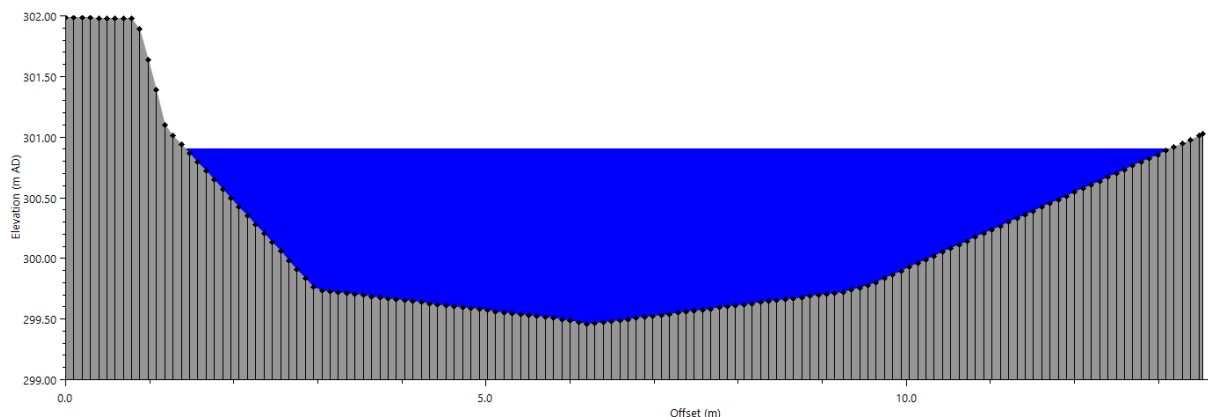


Figura 7.36 – Esempio di sezione del tratto “CIR-01-03”. Il livello idrico rappresentato corrisponde al tirante verificatosi in corrispondenza della piena di progetto ( $T = 200$  anni).

Per continuità ai tratti precedentemente dettagliati si prevede la realizzazione della pista di manutenzione in sinistra idrografica del tratto CIR-01-03, la quale vede proseguire la sua estensione planimetrica in fregio al canale dei Molini fino all’intersezione con Via Stura, in modo tale da garantire una duplice via di accesso/uscita al tratto di pista con estensione maggiore.

Al fine di proteggere i terreni posti a quote più depresse rispetto al tratto di canale di interesse, consistenti in terreni agricoli e sito produttivo di estrazione e trattamento di inerti è prevista la realizzazione di un rilevato arginale in materiale naturale compattato avente la stessa geometria di quello realizzato per l’intero tratto CIR-02.

In Figura 7.37 riporta graficamente la sezione tipologica di progetto per il tratto di canale scolmatore considerato.

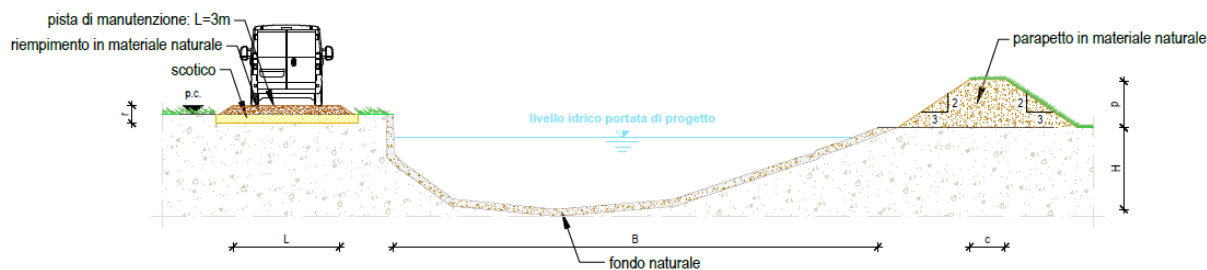


Figura 7.37 – Sezione tipologica di progetto del tratto CIR-01-03 – completezza dell’intervento.

Il secondo tratto previsto (**CIR-01-02**) riprende l’attuale tracciato della Bealera Sturetta, di cui verranno mantenute inalterate le quote del fondo per consentire la derivazione delle acque da parte delle utenze irrigue. Per garantire il corretto funzionamento del sistema di canali in periodo irriguo si prevede l’installazione di una soglia di fondo in calcestruzzo in corrispondenza dell’immissione nelle Bealera Sturetta delle dimensioni:  $B = 9.00m \times H = 0.60m$ . Il funzionamento di tale opera sarà dipendente dalla regolazione delle paratoie presenti a valle di tale nodo idraulico, posizionate all’inizio del canale dei Molini e del canale Sinibaldi, per le quali è prevista la sostituzione con paratoie



di dimensioni adeguate al contenimento della piena di progetto ( $B = 5.50m \times H = 1.70m$ ). In condizioni irrigue si effettuerà la regolazione di tali organi per garantire il deflusso della sola portata di concessione all'interno della Bealera Sturetta adeguata, mentre in condizioni di piena le paratoie dovranno essere totalmente abbassate per consentire lo sfioro dell'intera portata all'interno del canale scolmatore. Le nuove paratoie saranno in acciaio zincato movimentate da un sistema oleodinamico, con relativo meccanismo a contrappeso per la loro chiusura in caso di mancanza di energia elettrica. Tali organi saranno regolati dal consorzio irriguo - gestore della rete - da remoto grazie all'automazione degli stessi e dai livelli registrati dal sensore di livello opportunamente installato.

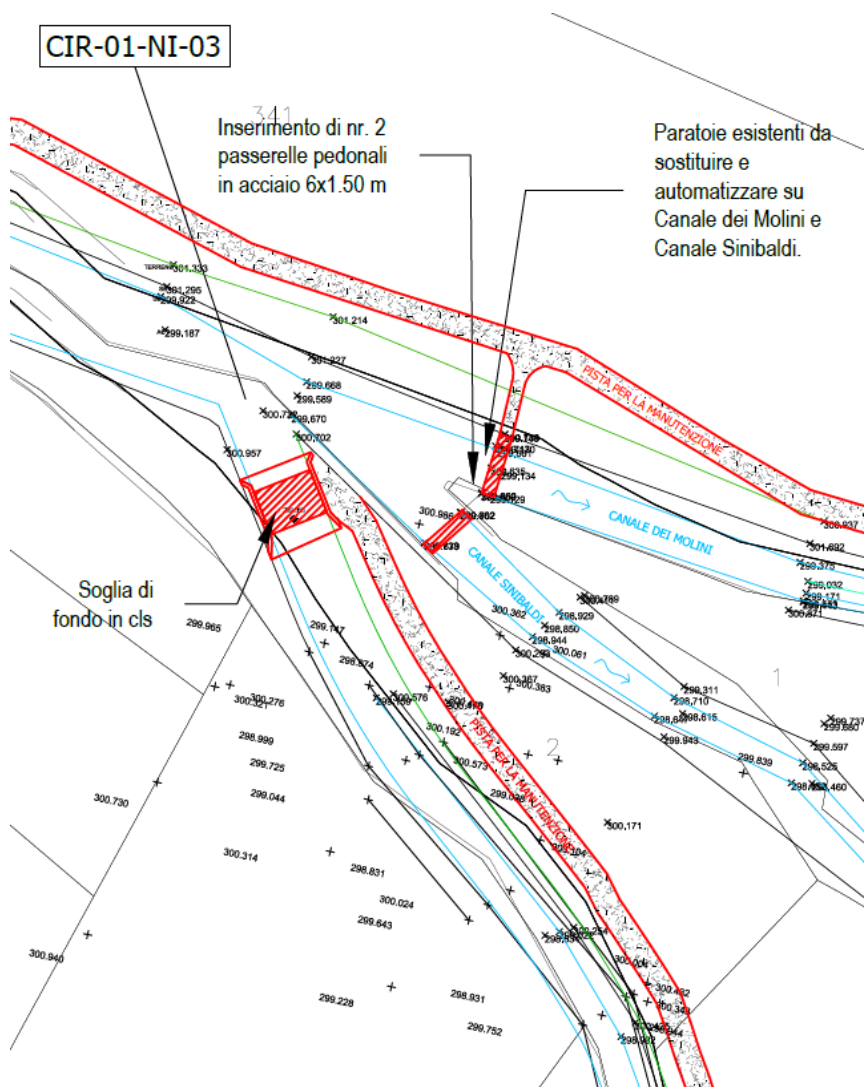


Figura 7.38 – Planimetria del nodo idraulico CIR-01-NI-03 – Derivazione dal canale di Caselle.

A seguito del nodo idraulico il tracciato seguirà il sedime della Sturetta, il quale verrà adeguato al fine di consentire il transito della portata di progetto. Tale tratto avrà una

lunghezza pari a 480 m e pendenza media del fondo di  $-0,86\%$ , avrà una sezione composita delle dimensioni riportate in Figura 7.39. Le sponde laterali della sezione rettangolare saranno rivestite con gabbionate riempite con pietrame e rinverdate con talee, mentre il fondo sarà naturale e prevederà la realizzazione di soglie in cls con funzione antiersiva ogni 100m. Contrariamente a quanto accade nei tratti precedentemente illustrati, la portata di progetto interagisce anche con le sponde inclinate del canale: per tale ragione si prevede il rivestimento di queste scarpate con materasso tipo Reno per evitare l'erosione durante il fenomeno della piena.

In Figura 7.40 si può notare il risultato della modellazione idraulica effettuata in termini di tirante idraulico all'interno di una sezione rappresentativa del tratto di interesse in condizioni di piena di progetto.

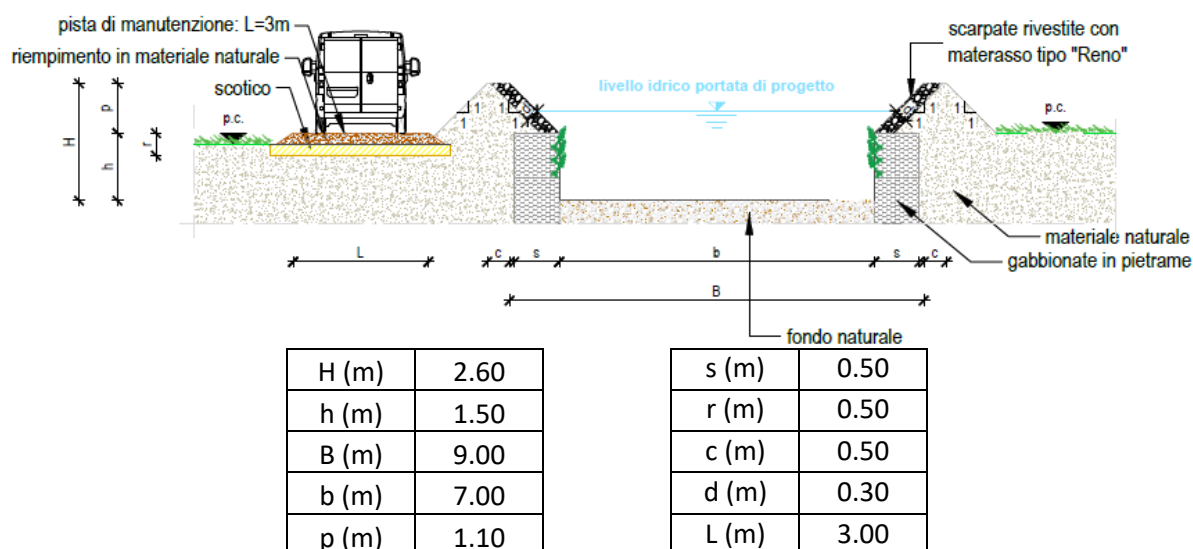


Figura 7.39 – Sezione tipologica di progetto del tratto CIR-01-02.

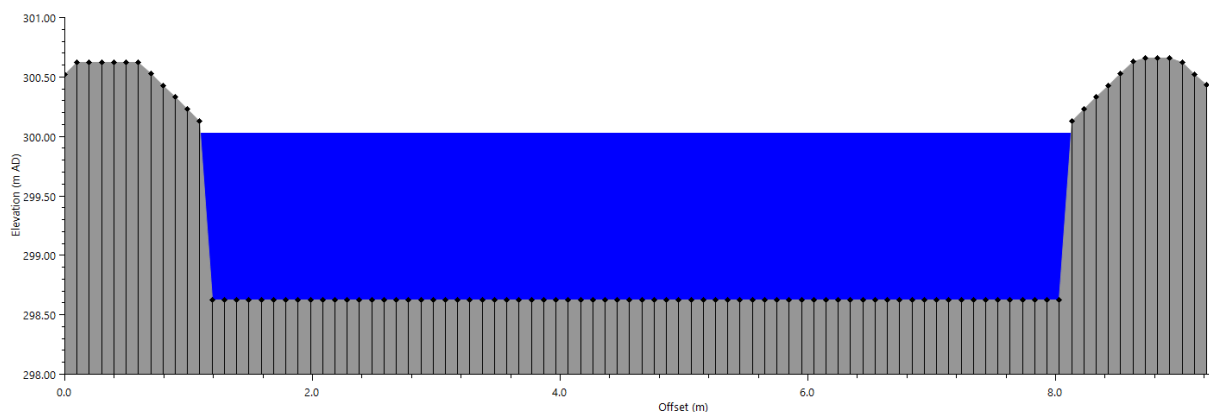


Figura 7.40 – Esempio di sezione del tratto "CIR-01-02". Il livello idrico rappresentato corrisponde al tirante verificatosi in corrispondenza della piena di progetto ( $T = 200$  anni).



Al termine di questo tratto il canale scolmatore devierà verso il torrente Stura di Lanzo, lasciando il sedime della Bealera Sturetta. In questo nodo idraulico si prevede l'installazione di una paratoia oleodinamica a semplice effetto sulla Sturetta, a valle del nodo, di dimensioni  $B = 3.00\text{ m} \times H = 2,80\text{ m}$  e di una soglia di fondo in calcestruzzo di dimensioni  $B = 7.00\text{ m} \times H = 0.15\text{ m}$  per la regolazione delle portate. In particolare, in condizioni di piena la paratoia dovrà essere completamente abbassata per garantire il deflusso unicamente all'interno del canale scolmatore, mentre in periodo irriguo la paratoia aperta e l'ostacolo creato dalla soglia di fondo consentiranno il transito dell'acqua di concessione all'interno della Bealera Sturetta. La movimentazione della paratoia in assenza di energia elettrica sarà garantita da un sistema meccanizzato a contrappeso appositamente installato. In Figura 7.41 viene rappresentato il nodo in progetto in planimetria.

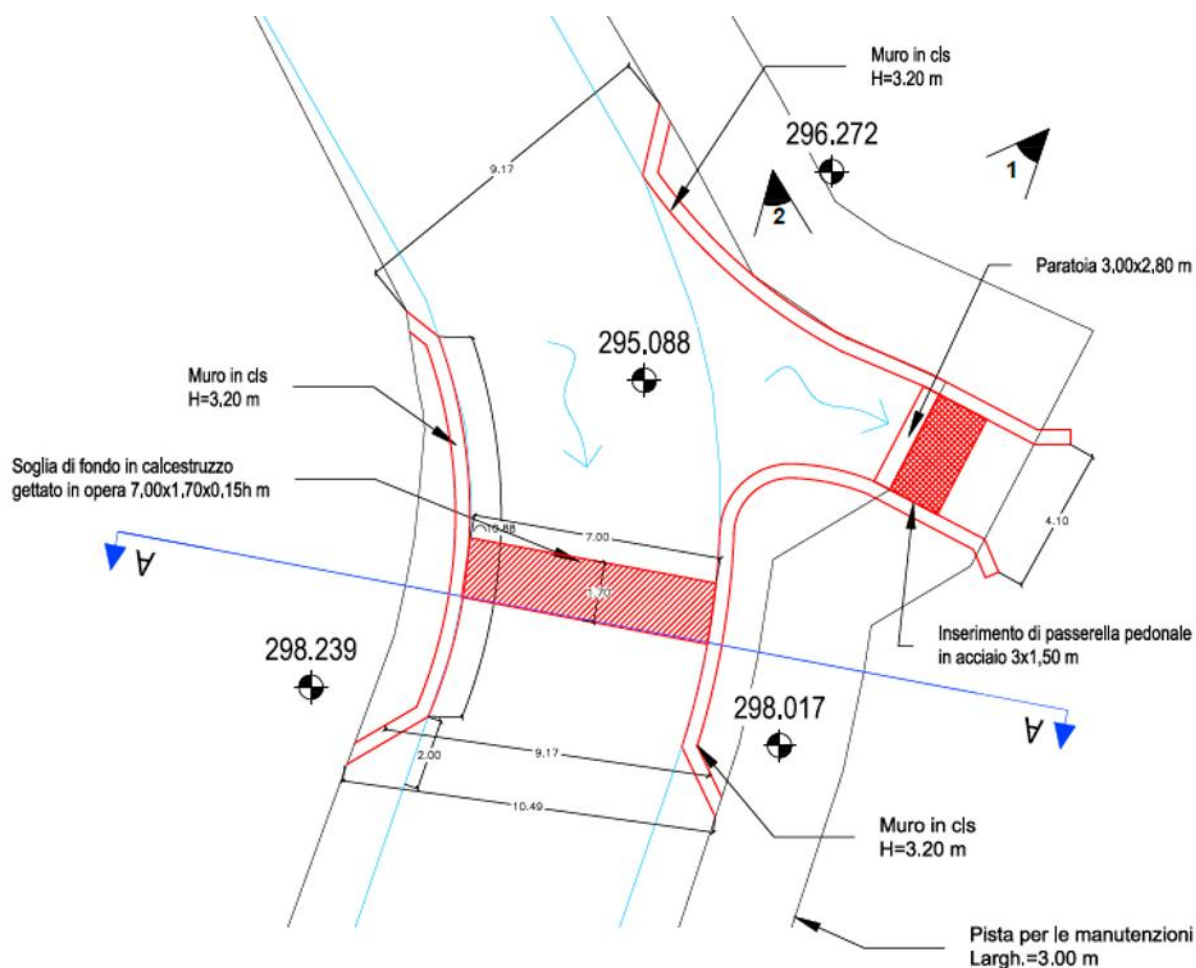


Figura 7.41 – Planimetria di dettaglio del nodo idraulico formato dall'intersezione della Bealera Sturetta ed il canale scolmatore di Cirié.

Il tratto terminale **CIR-01-01** sarà di nuova realizzazione e consentirà l'immissione delle portate di piena nel torrente Stura di Lanzo. Esso è stato dimensionato non solo sulla base della portata duecentennale di progetto, ma anche degli effetti di rigurgito dovuti alla piena dello Stura. Il tracciato di questo scaricatore avrà una lunghezza di 410 m e una pendenza di -0,33% e sarà caratterizzato da una sezione composita delle dimensioni riportate nella Figura 7.42. Le sponde della sezione rettangolare (la cui altezza è indicata come "h" nella sezione tipologica sotto riportata) saranno realizzate con gabbionate rinverdite, al fine di garantire una migliore armonia con il paesaggio circostante, mentre il fondo sarà naturale regolarizzato con la presenza di soglie in calcestruzzo ad un interasse di 100 m per mitigare i fenomeni erosivi dovuti alla corrente. Siccome non vi è presenza di derivazioni irrigue in questi tratti, si riprofilerà il terreno gradualmente al fine di permettere il transito della portata di progetto utilizzando un'estensione areale minore possibile, riducendo così le aree di esproprio. La simulazione idraulica (di cui si riporta il risultato di una sezione in Figura 7.43) è stata effettuata considerando anche il rigurgito all'interno del canale di progetto generato dalla piena ventennale del torrente Stura di Lanzo.

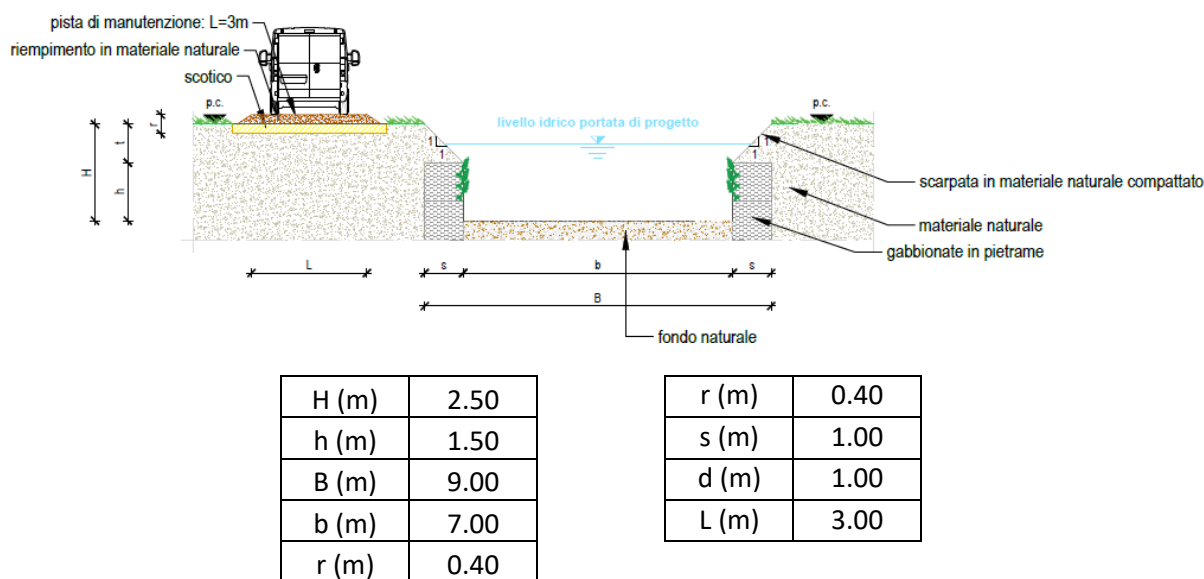


Figura 7.42 – Sezione tipologica di progetto del tratto CIR-01-01.

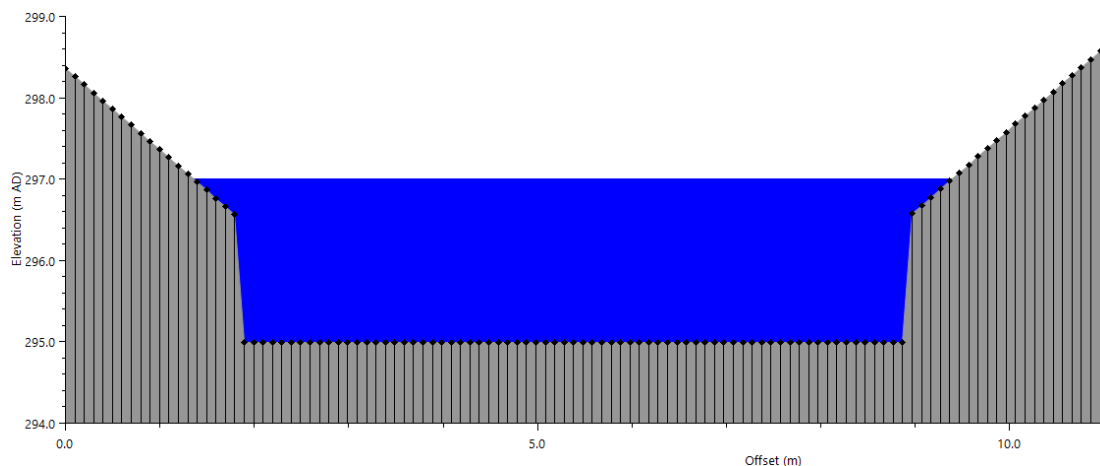


Figura 7.43 – Esempio di sezione del tratto “CIR-01-02”. Il livello idrico rappresentato corrisponde al tirante verificatosi in corrispondenza della piena di progetto ( $T = 200$  anni).

Ad una distanza di 15 m dalla confluenza nello Stura di Lanzo si prevede una sezione interamente rivestita in massi di cava cementati, come rappresentato nelle figure seguenti a titolo di esempio (per un quadro completo si rimanda alla tavola grafica di riferimento).

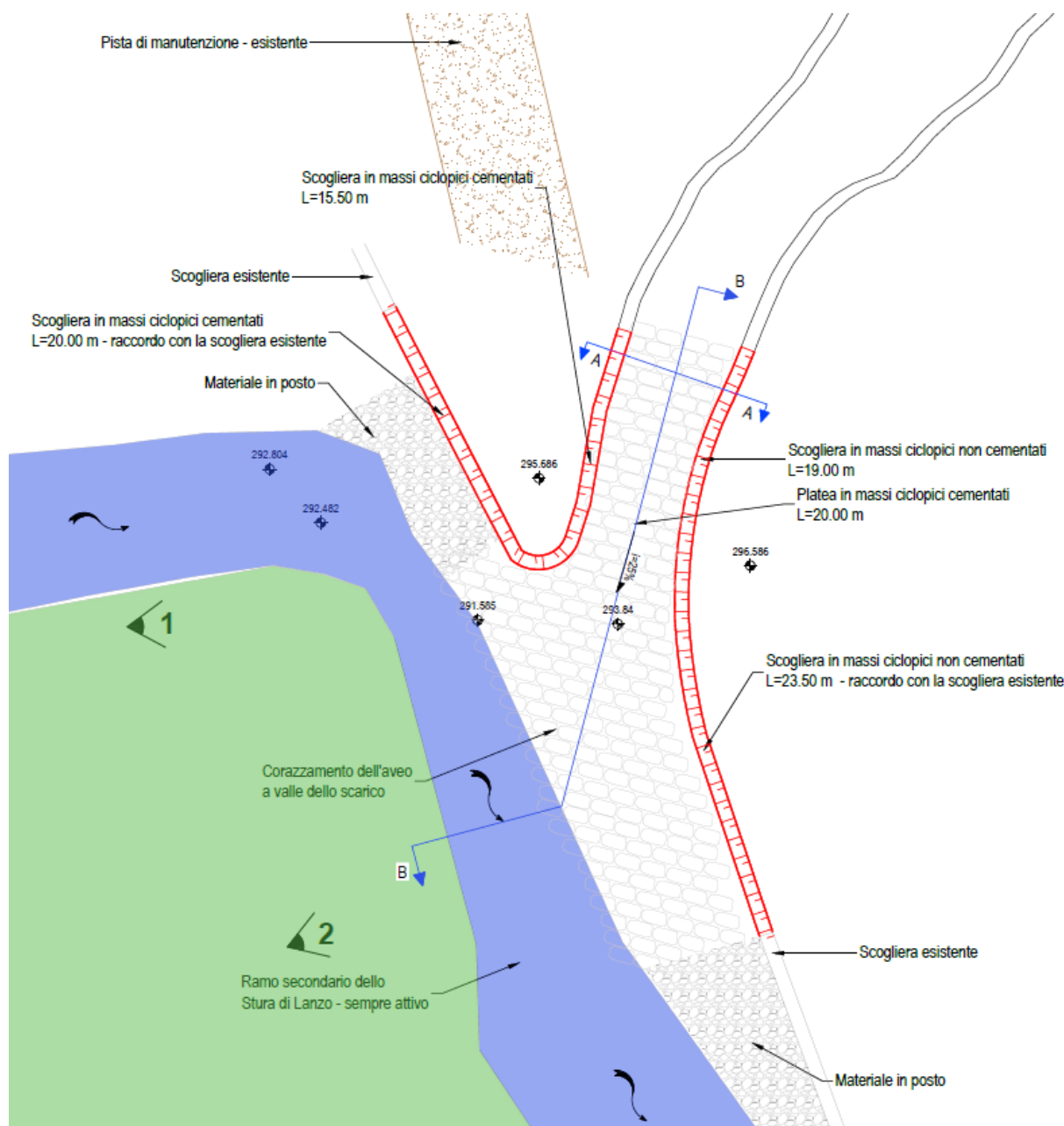


Figura 7.44 – Planimetria della parte finale del tratto "CIR-01-01" in corrispondenza del torrente Stura di Lanzo.



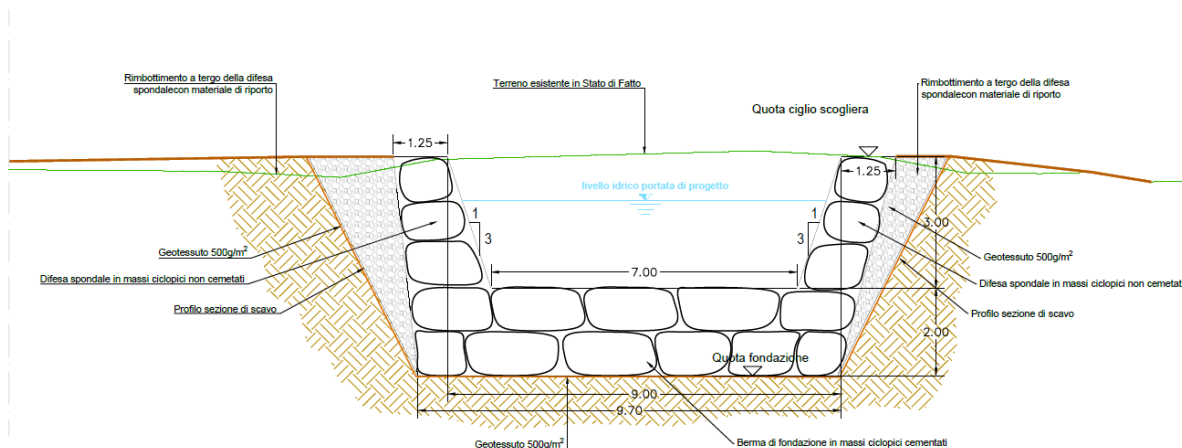


Figura 7.45 – Sezione tipologica della parte finale del tratto "CIR-01-01" in corrispondenza del torrente Stura di Lanzo.

La realizzazione di tutti gli interventi previsti consente il passaggio in sicurezza delle portate di piena provenienti dai settori di monte e risolve anche le criticità presenti nello stato di fatto nei pressi della Cava Ceretta (come riportato in Figura 7.46).



Figura 7.46 – Risultato della simulazione idraulico nello scenario di progetto per lo Stralcio 1 del canale scolmatore di Cirié.

### 7.3.1.2.1 Verifica del rigurgito in condizioni di piena del Torrente Stura di Lanzo

Vista l'interferenza con il torrente Stura di Lanzo da parte del tratto finale del canale scolmatore in progetto, è doveroso approfondire l'effetto provocato da un rigurgito all'interno del canale in progetto generato dalla piena del Torrente Stura di Lanzo.

Come riportato nel **Paragrafo 6.3.2** si è analizzato il rigurgito all'interno del canale di progetto generato dal Torrente Stura di Lanzo in due differenti condizioni:

1.  $Q_{20}$  del Torrente Stura di Lanzo: **296,24 m s.l.m.**;
2.  $Q_{20}$  del Torrente Stura di Lanzo: **296,69 m s.l.m.**.

In seguito si riporta l'analisi per ciascun caso in esame.

#### **Rigurgito in condizioni di $Q_{20}$ del Torrente Stura di Lanzo**

Il livello imposto dal Torrente Stura di Lanzo in condizioni di piena ventennale è pari a 296.24 m s.l.m.. Tale livello è stato inserito come condizione al contorno di valle del modello idraulico sviluppato in questa sede.

Nella figura che segue si può notare come tale livello non genera esondazioni lungo il tracciato dello stralcio 1 del canale scolmatore in progetto: in particolare si evidenzia il riempimento del canale lungo tutto il tratto CIR-01-01, con livelli all'interno del canale al di sotto della soglia di attenzione (franco idraulico maggiore di 1.50 m).

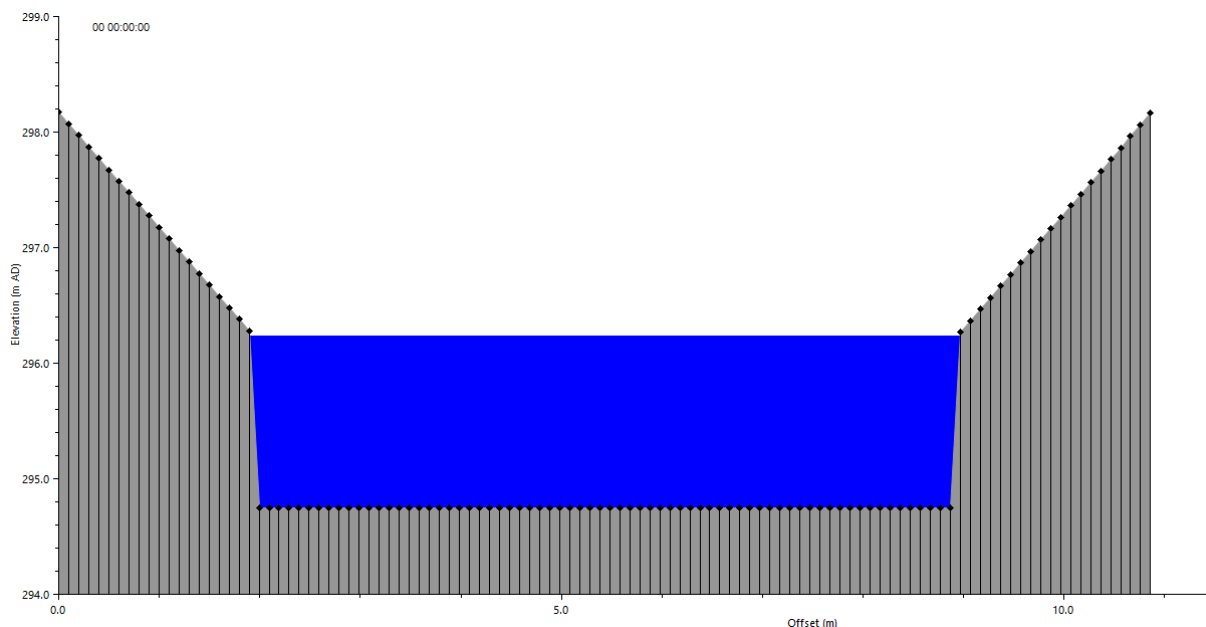
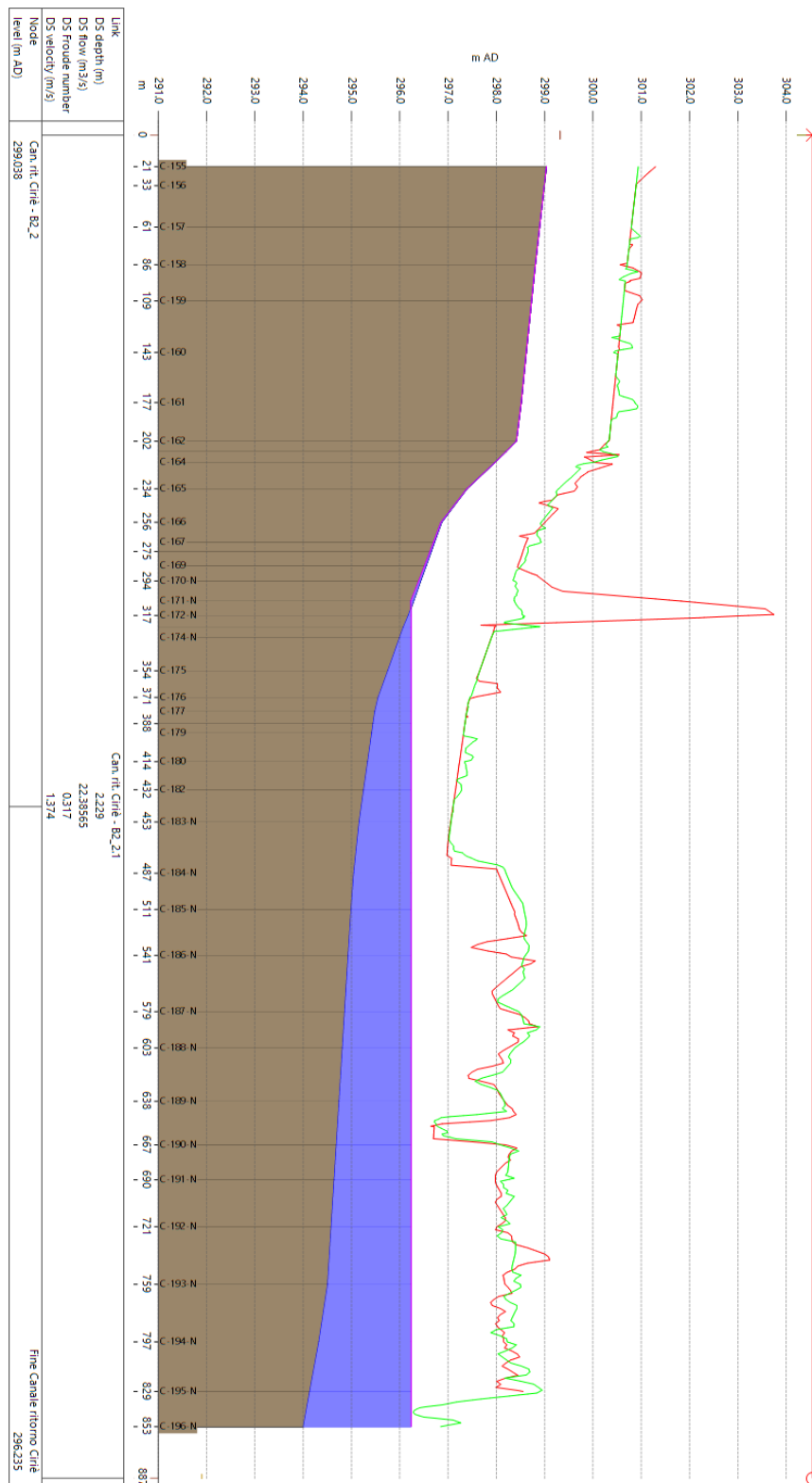


Figura 7.47 – Sezione di deflusso in corrispondenza del tratto CIR-01-01 in condizioni iniziali – Rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo.





*Figura 7.48 – Profilo idraulico dello stralcio 1 in condizioni iniziali – Rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo – In marrone viene riportato il fondo del canale scolmatore, in rosso e verde le sponde, mentre in azzurro viene riportata l'acqua presente all'interno del canale.*



Analizzando invece l'involuppo dei massimi livelli all'interno dello stralcio 1 si può notare come l'acqua non fuoriesca dal canale scolmatore in progetto. **Tale considerazione attesta il corretto funzionamento dell'opera in progetto in condizioni di piena ventennale dello Stura di Lanzo.**

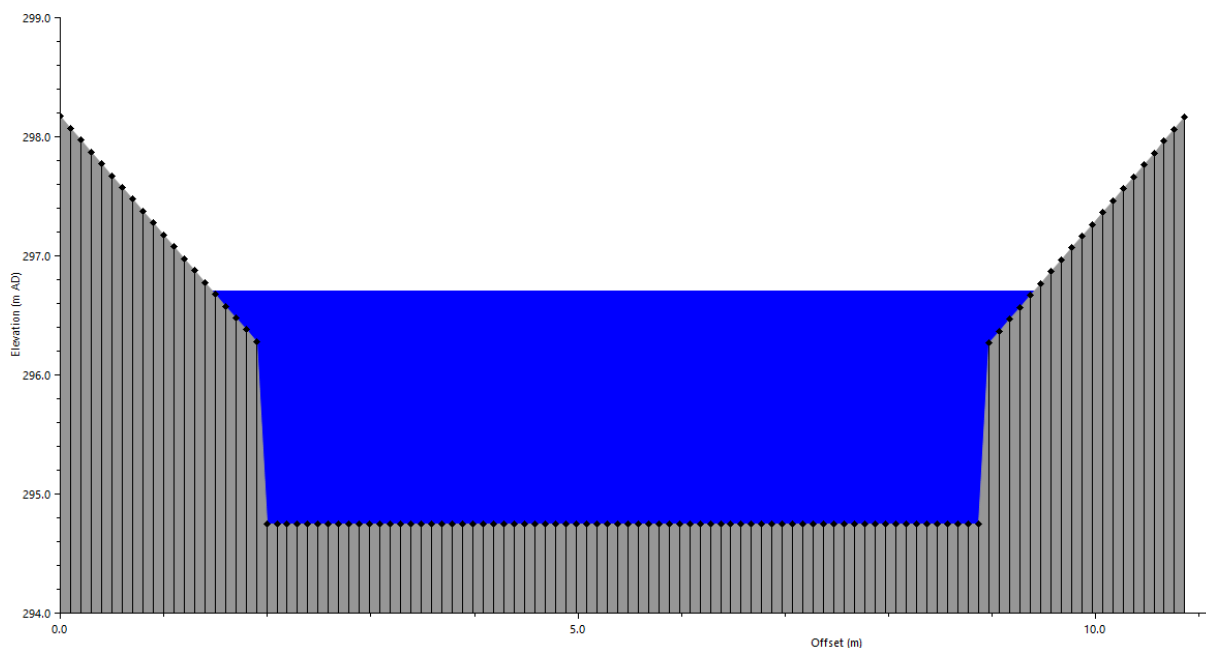


Figura 7.49 – Sezione di deflusso in corrispondenza del tratto CIR-01-01 in condizioni di portata di picco del canale scolmatore – Rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo.

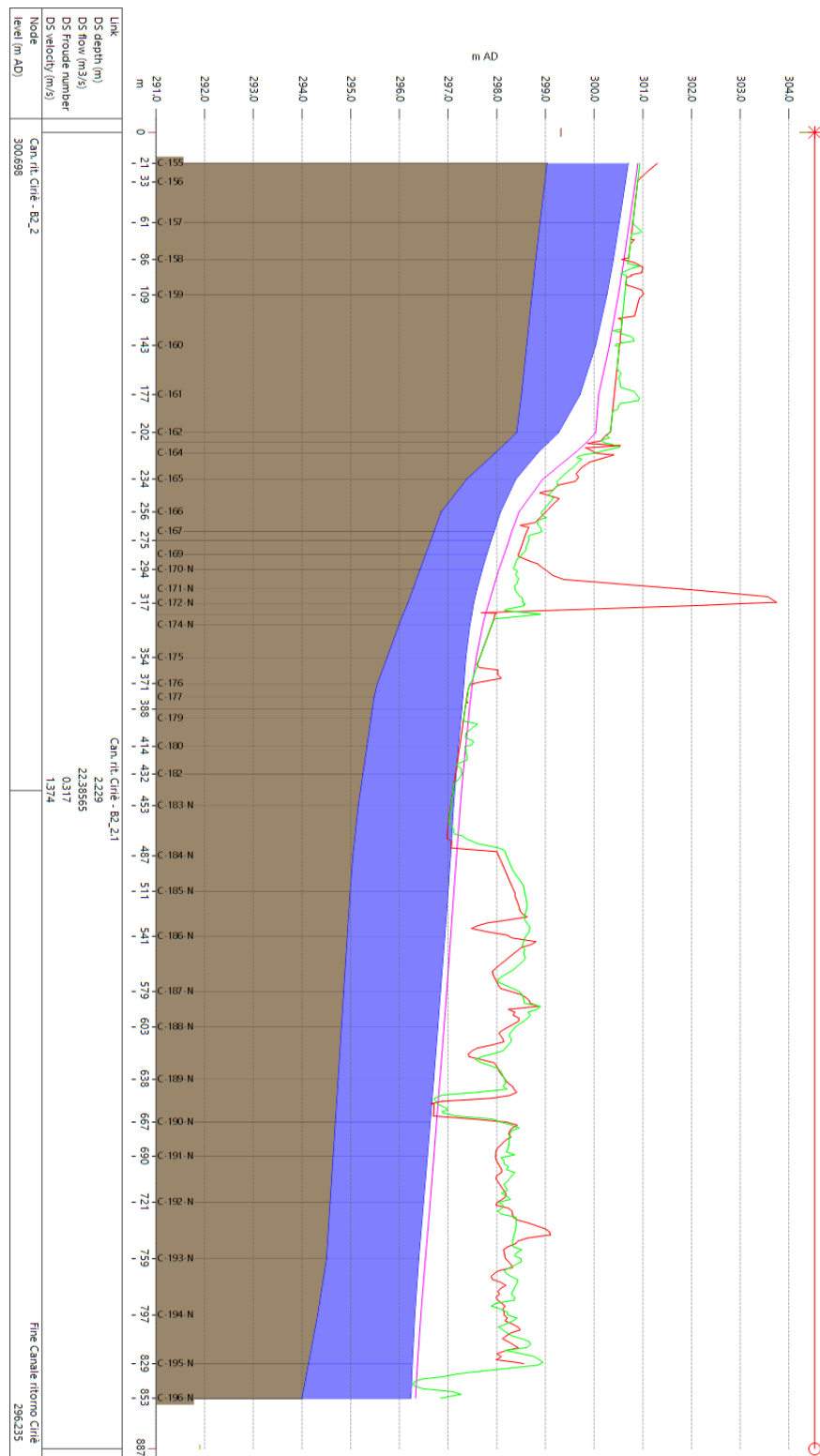


Figura 7.50 – Profilo idraulico dello stralcio 1 in condizioni di portata di picco del canale scolmatore – Rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo – In marrone viene riportato il fondo del canale scolmatore, in rosso e verde le sponde, mentre in azzurro viene riportata l'acqua presente all'interno del canale.

### Rigurgito in condizioni di $Q_{200}$ del Torrente Stura di Lanzo

Il livello imposto dal Torrente Stura di Lanzo in condizioni di piena duecentennale è pari a 296.69 m s.l.m.. Tale livello è stato inserito come condizione al contorno di valle del modello idraulico sviluppato in questa sede.

Nella figura che segue si può notare come tale livello non genera esondazioni lungo il tracciato dello stralcio 1 del canale scolmatore in progetto: in particolare si evidenzia il riempimento del canale lungo tutto il tratto CIR-01-01, con livelli all'interno del canale al di sotto della soglia di attenzione (franco idraulico maggiore di 1.00 m).

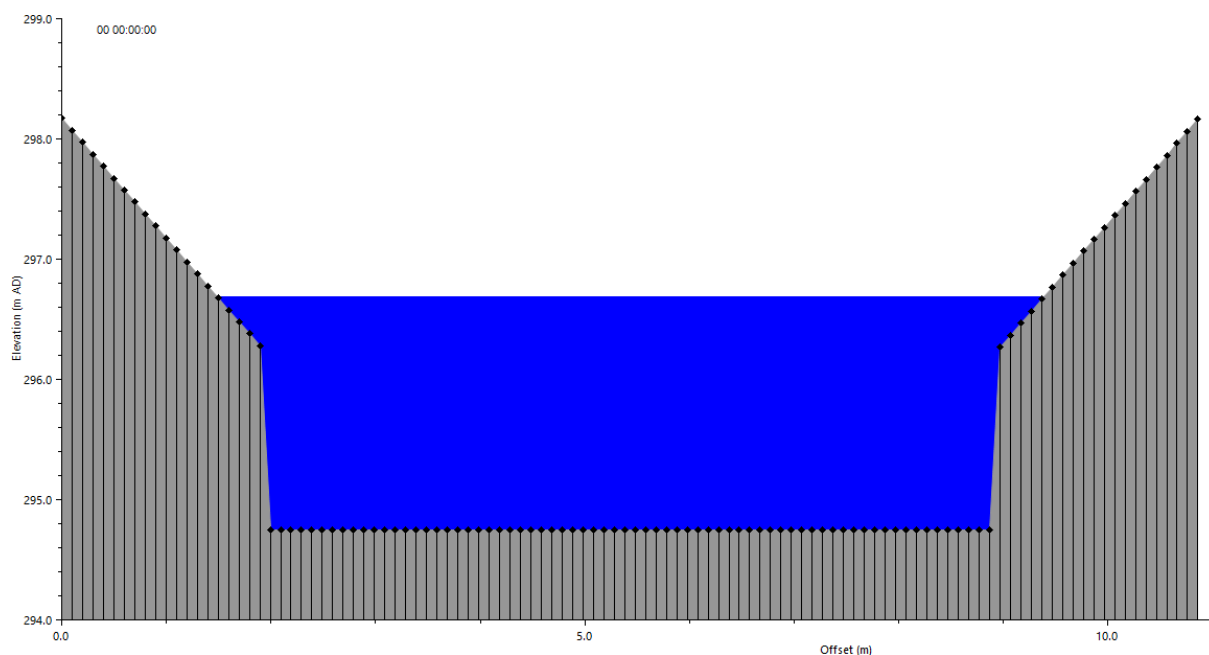
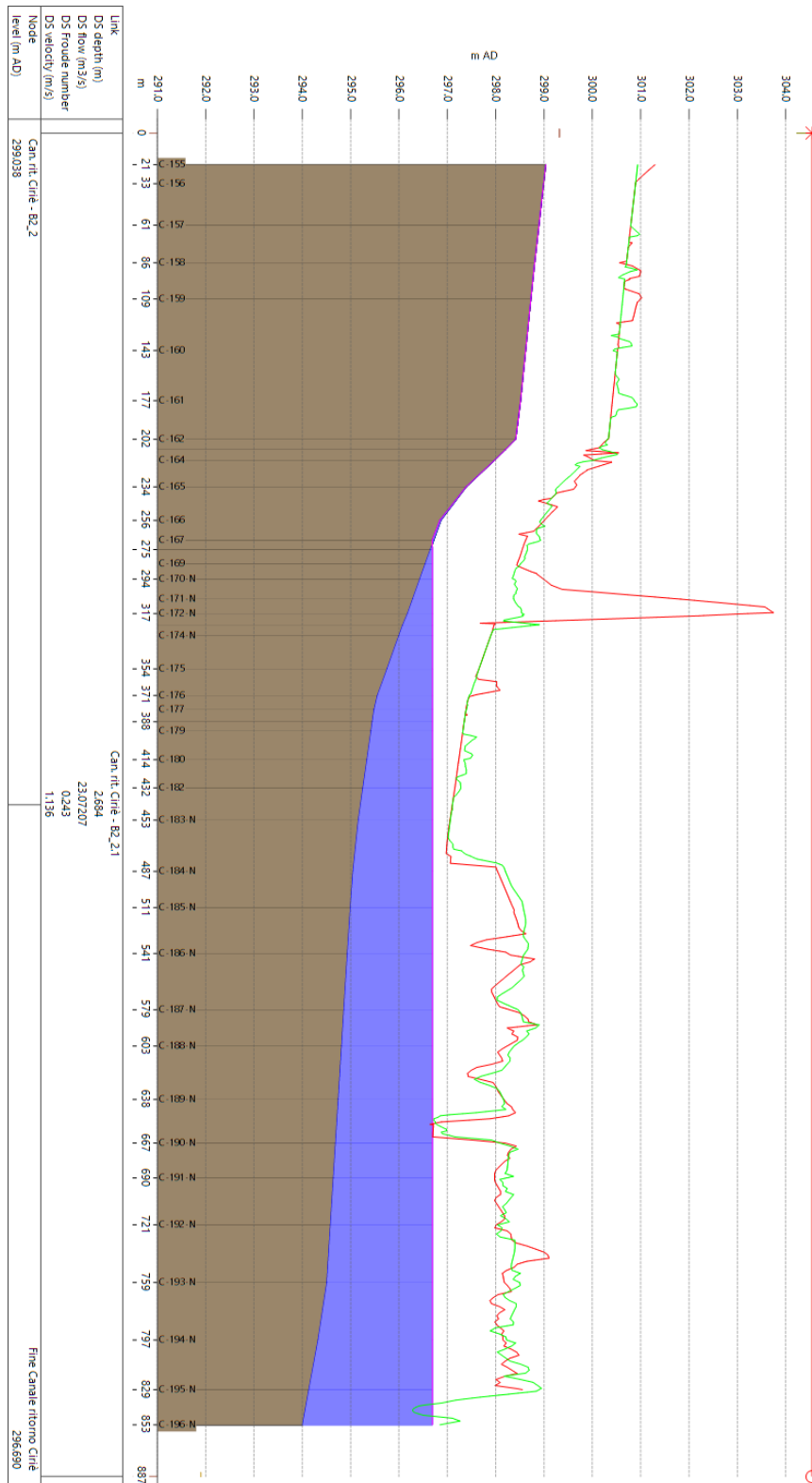


Figura 7.51 – Sezione di deflusso in corrispondenza del tratto CIR-01-01 in condizioni iniziali – Rigurgito con  $Q_{200}$  dello Stura di Lanzo.







*Figura 7.52 – Profilo idraulico dello stralcio 1 in condizioni iniziali – Rigurgito con  $Q_{200}$  dello Stura di Lanzo – In marrone viene riportato il fondo del canale scolmatore, in rosso e verde le sponde, mentre in azzurro viene riportata l'acqua presente all'interno del canale.*

Analizzando invece l'involuppo dei massimi livelli all'interno dello stralcio 1 si può notare come l'acqua fuoriesca dal canale scolmatore in progetto solamente in corrispondenza del nodo idraulico CIR-01-NI-02, ovvero in corrispondenza dell'imbocco della bealera Sturetta. Questi allagamenti risultano essere minimi per quanto compete al canale scolmatore, come riportato nella figura seguente.



Figura 7.53 – Aree allagabili in corrispondenza del picco di portata di progetto del canale scolmatore in condizioni di rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo.

Per quanto riguarda la restante parte del canale appartenente allo stralcio 1, non si registrano allagamenti, come testimoniato dalla sezione e dal profilo riportati in seguito.

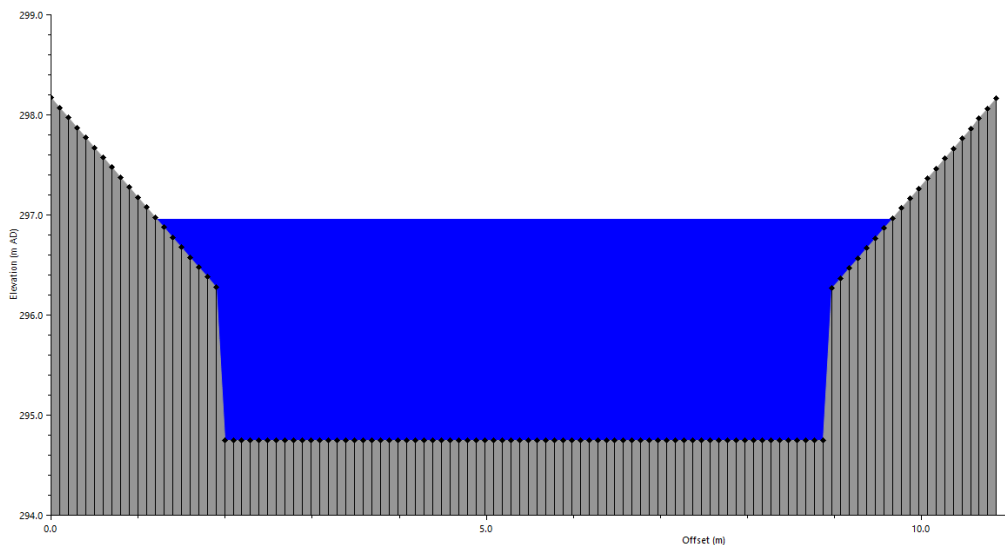
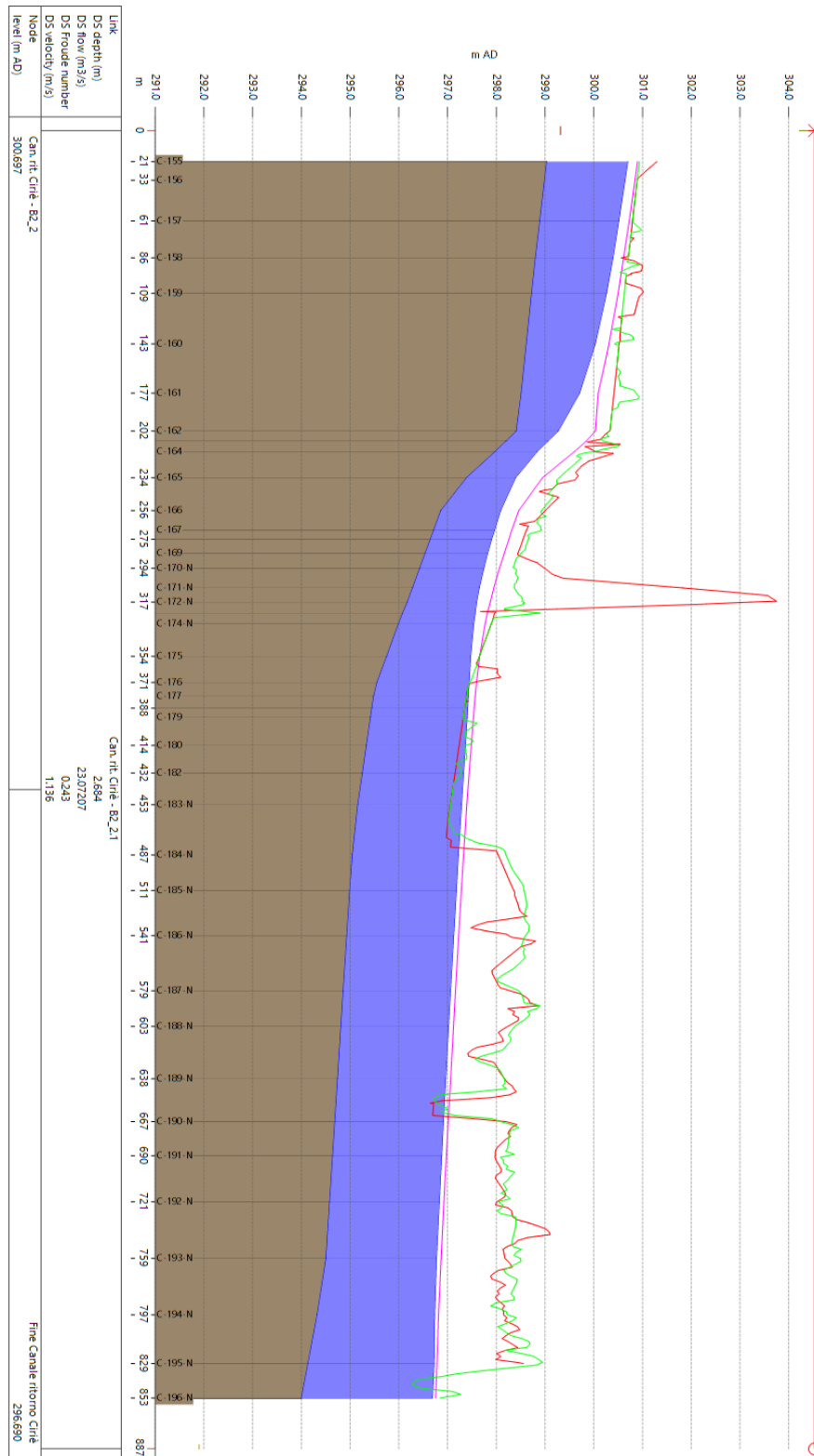


Figura 7.54 – Sezione di deflusso in corrispondenza del tratto CIR-01-01 in condizioni di portata di picco del canale scolmatore – Rigurgito con  $Q_{20}$  dello Stura di Lanzo.





*Figura 7.55 – Profilo idraulico dello stralcio 1 in condizioni di portata di picco del canale scolmatore – Rigurgito con  $Q_{200}$  dello Stura di Lanzo – In marrone viene riportato il fondo del canale scolmatore, in rosso e verde le sponde, mentre in azzurro viene riportata l'acqua presente all'interno del canale.*

Tale scenario risulta comunque conforme a quanto accade nei territori circostanti al canale, in quanto la piena duecentennale dello Stura di Lanzo provoca allagamenti nelle aree circostanti il tratto CIR-01-01.

**In conclusione, visti i risultati derivanti dalle modellazioni idrauliche in condizioni di rigurgito del Torrente Stura di Lanzo ( $Q_{20}$  e  $Q_{200}$ ) è possibile affermare che il canale scolmatore in progetto non subisca danni da uno scenario in cui si verifichi la concomitanza di eventi caratterizzati da periodi di ritorno duecentennale dell'opera in progetto e dello Stura di Lanzo.**

#### 7.3.1.2.2 Verifica al trascinamento dei massi di cava

Si riporta di seguito la verifica delle dimensioni dei massi di cava previsti alle tensioni di trascinamento dovute alla corrente in condizioni di piena duecentennale di progetto.

Al fine del dimensionamento preliminare del materiale lapideo da utilizzare per la protezione, si sono applicate le formulazioni di Shields, Izbash e dell'USACE, considerate stabili per determinate condizioni idrodinamiche di velocità, pendenza e sommergenza.

Il calcolo è stato effettuato su una sezione tipologica di posa, inserendo le caratteristiche fisiche e meccaniche del canale cementato esistente ( $\phi$ ,  $\rho_s$ ,  $\gamma_s$ ,  $\beta$ ) e la pendenza delle scarpate ( $\alpha_s$ ).

Il diametro scelto per i massi deve quindi essere maggiore o uguale al diametro minimo stimato.

Nel seguito si riportano differenti formulazioni per la determinazione delle dimensioni caratteristiche dei massi che ne garantiscano la stabilità.

##### Criterio di Shields

Si assume come valore critico del parametro di Shields  $\Phi=0.06$ , che, come noto, si riferisce ai casi caratterizzati da un elevato numero di Reynolds, quali senz'altro possono essere quelli che si riferiscono a protezioni d'alveo ad elevata granulometria:

$$\Phi = \frac{\gamma R i}{(\gamma_s - \gamma) d} = \frac{R i}{\beta d} = 0.06$$

In cui:  $i$  è la pendenza del fondo alveo.

Tale espressione può essere riscritta in modo da esplicitare la dimensione caratteristica  $d$  dei massi:

$$d = \frac{1}{0.06} \frac{Ri}{\beta}$$

Assumendo una pendenza del fondo pari alla pendenza del moto uniforme si può risolvere la precedente in funzione della velocità locale della corrente utilizzando la formulazione di Chezy  $v = \chi \sqrt{Ri}$ , ottenendo:

$$d = \frac{v^2}{0.06 \chi^2 \beta}$$

Dove  $\chi = \frac{1}{n} R^{1/6}$  è il coefficiente di attrito in funzione della scabrezza (fattore n di Manning) della protezione s.

### **Formula di Izbash**

La formulazione di Izbash è valida per le protezioni spondali in massi in superfici orizzontali ed esprime la dimensione caratteristica del masso secondo la seguente espressione:

$$d = C_t \frac{V^2}{g\beta}$$

In cui:  $C_t$  è il coefficiente di turbolenza di Izbash, i cui valori sono compresi entro l'intervallo 0.3 – 0.7, da assumere in funzione del grado di turbolenza.

Si è scelto, nel caso specifico, un valore del coefficiente  $C_t$  intermedio e pari a 0.5.

### **Formula dell'U.S. Army Corp of Engineers (USACE)**

Per bassa turbolenza la formula proposta è la seguente:

$$d = 0.347 \frac{V^2}{g\beta}$$

Nel caso in cui si considerino elementi posti su sponde inclinate, risulta non più trascurabile la componente del peso immerso del masso stesso, che agisce come fattore riduttivo della stabilità. Pertanto le formulazioni precedentemente esposte devono essere corrette attraverso l'assunzione di un coefficiente correttivo  $K_s$  definito come:

$$k_s = \left( 1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \Phi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

In cui:  $\alpha$  è l'angolo che la sponda inclinata forma con l'orizzontale;  $\Phi$  è l'angolo di attrito del materiale costituente la sponda stessa.

L'angolo di inclinazione della sponda rispetto all'orizzontale è di circa  $56^\circ$ , prossimo al valore dell'angolo di attrito dei massi di grosse dimensioni disposti alla rinfusa, assimilabile ad un valore di  $50-55^\circ$ . Applicando l'equazione che definisce il coefficiente correttivo  $K_s$  con i valori angolari caratteristici, si ottengono valori del coefficiente correttivo pressoché nulli, che comportano evidenti sovradimensionamenti dei massi costituenti la protezione. Questo è dovuto alla corrispondenza tra l'angolo di inclinazione delle sponde ( $56^\circ$ ) e l'angolo di attrito del materiale costituente la protezione spondale ( $50-55^\circ$ ). È da considerare che tale formulazione considera la disposizione dei massi da protezione alla rinfusa, disposti cioè, come limite massimo, secondo una pendenza pari all'angolo di attrito. La protezione in progetto è invece costituita da massi posati a formare una struttura che genera un grado di stabilità maggiore rispetto ad un rivestimento della sponda con massi alla rinfusa. I massi sono infatti esposti alla sola forza di trascinamento che agisce sulla faccia a vista dell'opera.

Si è pertanto optato per l'assunzione di un coefficiente correttivo  $K_s$  pari a 0.9, che comporta una maggiorazione nelle dimensioni caratteristiche dei massi di circa il 15%.

Infine si è applicato un fattore di sicurezza pari a 1.5 rispetto al valore di diametro stabile ottenuto.

Applicando le formulazioni precedentemente esposte ed il coefficiente correttivo  $K_s$  si ottengono i valori riportati nella seguente tabella.

La verifica è stata effettuata in corrispondenza della sezione idraulica di scarico del canale scolmatore in Stura di Lanzo, considerando sia il contributo generato dalla piena di progetto del canale scolmatore che la piena duecentennale del Torrente Stura di Lanzo (i cui dati della simulazione idraulica sono stati desunti dal Progetto di Fattibilità "Messa in sicurezza del reticolo idrografico del territorio posto tra il Torrente Stura di Lanzo e il Torrente Banna – Lotto 2 – Realizzazione di scolmatore del canale di ritorno di Cirié per la regolazione delle acque meteoriche", redatto dalla Provincia di Torino).

Nelle tabelle seguenti si riportano tutti e due i risultati.

Tabella 16 - dimensionamento della protezione spondale e dei massi considerabili come stabili. Condizioni idrodinamiche in riferimento al modello idraulico con TR200 – CANALE SCOLMATORE.

			Sez. Scolmatore
<b>Parametri protezione spondale</b>			
$\alpha_s$	°	pendenza della sponda rispetto all'orizzontale	70
$\varphi$	°	angolo di attrito del terreno	30
$\rho_s$	kg/mc	densità solido (massi)	2500
$\gamma_s$	N/mc	peso specifico solido	24525
$\beta$		fattore di peso immerso	1.5
$R$	m	raggio idraulico	1.54
$v$	m/s	velocità media	2.19
$K_s$		coefficiente correttivo per inclinazione della sponda	0.90
$n$		coefficiente di scabrezza di Manning per la protezione spondale	0.035
$\chi$	m <sup>1/2</sup> /s	coefficiente di resistenza	30.71
<b>Calcolo del diametro stabile</b>			
$C_t$		coefficiente di turbolenza (0.3 - 0.7) Izbash	0.5
$d_{Shields}$	m	diametro stabile	0.063
$d_{Izbash}$	m	diametro stabile	0.181
$d_{USACE}$	m	diametro stabile	0.126
$d_{medio}$	m	Media delle ultime 3 formule	0.123
$F_s$	-	Fattore di sicurezza	1.5
$D_p$	m	<b>Diametro di progetto</b>	<b>0.20</b>



Tabella 17 - dimensionamento della protezione spondale e dei massi considerabili come stabili. Condizioni idrodinamiche in riferimento al modello idraulico con TR200 – TORRENTE STURA DI LANZO.

			Sez. Stura di Lanzo
<b>Parametri protezione spondale</b>			
$\alpha_s$	°	pendenza della sponda rispetto all'orizzontale	56
$\varphi$	°	angolo di attrito del terreno	30
$\rho_s$	kg/mc	densità solido (massi)	2500
$\gamma_s$	N/mc	peso specifico solido	24525
$\beta$		fattore di peso immerso	1.5
$R$	m	raggio idraulico	-
$v$	m/s	velocità media	3.58
$K_s$		coefficiente correttivo per inclinazione della sponda	0.60
$n$		coefficiente di scabrezza di Manning per la protezione spondale	0.035
$\chi$	m <sup>1/2</sup> /s	coefficiente di resistenza	-
<b>Calcolo del diametro stabile</b>			
$C_t$		coefficiente di turbolenza (0.3 - 0.7) Izbash	0.5
$d_{Shields}$	m	diametro stabile	-
$d_{Izbash}$	m	diametro stabile	0.724
$d_{USACE}$	m	diametro stabile	0.503
$d_{medio}$	m	Media delle ultime 3 formule	0.614
$F_s$	-	Fattore di sicurezza	1.5
$D_p$	m	<b>Diametro di progetto</b>	<b>1.00</b>

Si sceglie di dimensionare i massi adottando la condizione più sfavorevole, ovvero indotta dalla piena duecentennale del Torrente Stura di Lanzo. Il diametro minimo di progetto è quindi pari a 1m, corrispondente ad un volume di 0,5 m<sup>3</sup> e ad un peso di circa 1000 kg.

## 8 CONCLUSIONI

Nel presente documento sono illustrate le analisi idrologiche e idrauliche effettuate per la definizione degli interventi di mitigazione del rischio idraulico nei comuni di Cirié, San Maurizio Canavese e Caselle Torinese.

Dalle simulazioni idrauliche è emerso che la soluzione progettuale proposta, riguardante la realizzazione di un canale scolmatore mediante l'adeguamento del canale di ritorno di Cirié e la costruzione di uno scaricatore nel Torrente Stura di Lanzo, consente il transito delle portate di piena di progetto (con periodo di ritorno di 200 anni) risolvendo alcune delle problematiche presenti allo stato attuale e senza incrementare il rischio idraulico in aree dove attualmente non si registrano criticità. Come dettagliato nella premessa, l'intervento in progetto risulta essere parziale rispetto a quello previsto in sede di progettazione di fattibilità tecnico-economica a causa della limitatezza di fondi a disposizione per l'esecuzione delle opere. Preso atto di questo, la presente progettazione è stata effettuata definendo gli interventi prioritari sulla rete di canali di interesse, in modo tale da mitigare il rischio idraulico sia nelle immediate vicinanze sia in località poste a valle. Con questo intervento si permetterà anche una migliore gestione delle portate transitanti all'interno della rete di canali da parte del Consorzio Riva Sinistra, gestore di tale rete, grazie all'automazione di alcuni nodi cruciali.