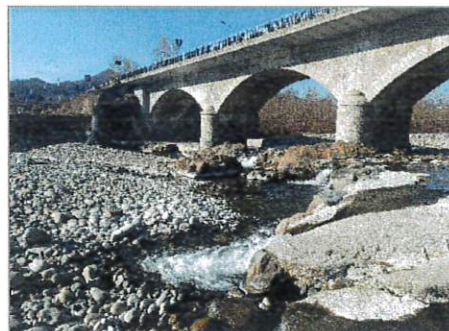




Comune di Pray

Provincia di Biella

Regione Piemonte



INTERVENTO DI RIFUNZIONALIZZAZIONE DELL'ASTA DEL TORRENTE SESSERA
DALLA CONFLUENZA CON IL FIUME SESIA ALLA FRAZIONE ZUCCARO

PROGETTO DEFINITIVO - LOTTO 1

OGGETTO

02. STUDI AMBIENTALI, GEOLOGICI - GEOTECNICI E IDRAULICI

RELAZIONE IDRAULICA

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.

STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

ing. Luca MAGNI
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.10941V

ing. Fabio AMBROGIO
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.23B

prof. ing. Maurizio ROSSO
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.13076

RAGGRUPPAMENTO

Capogruppo: Studio Rosso Ingegneri Associati S.r.l. sede legale Torino in Via Rosolino Pilo n. 11
Mandante: SEAcop sede legale Torino in Corso Palestro n. 9
Mandante: Mello Rella & Associati Ingegneria sede legale Valdengo in Via Roma n. 39
Mandante: Studio Associato Insieme Ingegneria sede legale Varallo in Corso Roma n. 17
Mandante: Studio Tecnico Ing. Marco Fauda sede legale Borgosesia (VC) in Via Duca d'Aosta n. 53
Mandante: Geol. Marco Zantonelli sede legale Borgosesia (VC) in Via Vittorio Veneto n. 5
Mandante: Dr. Massimo Barbonaglia sede legale Biella (BI) in Via C.A.Coda, 22/e

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	NOV/2024
COD. LAVORO	356/SR
TIPOL. LAVORO	D
LOTTO	1
STRALCIO	-
SETTORE	2
TIPOL. ELAB.	RI
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	07
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Gianluca COLOMBO

CONTROLLATO

ing. Luca MAGNI

APPROVATO

ing. Maurizio ROSSO

ELABORATO

D1-2.7



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO DEL TORRENTE SESSERA.....	6
2.3 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DEL TORRENTE SESSERA NEL TRATTO OGGETTO DI INDAGINE	7
3. RILIEVI DELL'ALVEO E DELLE OPERE ESISTENTI	9
4. PARAMETRI IDROLOGICI.....	12
4.1 RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA.....	12
4.2 PORTATE E IDROGRAMMA DI RIFERIMENTO.....	13
5. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)	14
6. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)	17
7. STUDIO IDRAULICO PRELIMINARE DEI DEFLUSSI DI PIENA DEL TORRENTE SESSERA	19
7.1 GENERALITÀ.....	19
7.2 METODOLOGIA DI CALCOLO.....	20
7.2.1 HEC-RAS mono-dimensionale	20
7.2.2 HEC-RAS bi-dimensionale	21
7.3 GEOMETRIA DI RIFERIMENTO 1D E 2D	24
7.3.1 Geometria dello stato di fatto 2D.....	25
7.3.1 Geometria dello stato di PROGETTO 2D.....	27
7.3.2 Sezioni di calcolo 1D.....	28
7.3.3 Parametri di scabrezza	29
7.3.4 Ponti e infrastrutture.....	31
7.3.5 Condizioni al contorno.....	33
7.3.6 Scenari simulati	34
8. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	36
8.1 TRATTO A TRA LE PROG. 0+000 A 1+155 - PONTE DI BORNATE IN COMUNE DI BORGESIA	36
8.2 TRATTO B TRA LE PROG. 1+450 A 2+200 A MONTE DEL PONTE DI BORNATE	41
8.3 MODELLO 2D DEL TRATTO A E B TRA LE PROG. 0+000 A 2+200	47
8.4 TRATTO C TRA LE PROG. 2+550 A 3+510 – DALL'IMPIANTO IDROELETTRICO ALLA GUARDELLA SINO ALLA PORTALUPI SALUMI 57	
8.5 TRATTO D TRA LE PROG. 4+300 A 4+715 IN COMUNE DI CREVACUORE	60
8.6 TRATTO E TRA LE PROG. 6+450 E 7+325 IN COMUNE DI PRAY A VALLE DEL PONTE DI PIANCERI.....	62
8.7 TRATTO F TRA LE PROG. 7+340 E 7+550 IN COMUNE DI PRAY – PONTE DI PIANCERI.....	65
8.8 TRATTO G TRA LE PROG. 7+650 E 9+030 IN COMUNE DI PRAY	67
8.9 TRATTO H TRA LE PROG. 9+320 E 11+000 IN COMUNE DI COGGIOLA – PASSERELLA PEDONALE A VALLE DEL CIMITERO.....	69
8.10 TRATTO I TRA LE PROG. 11+120 E 11+680 IN COMUNE DI COGGIOLA E PORTULA – VIA DELLA LIBERTÀ.....	72
8.11 TRATTO L TRA LE PROG. 12+200 E 11+850 - FRAZ. MASSERANGA	76
8.12 TRATTO M TRA LE PROG. 12+400 E 12+550 IN COMUNE DI COGGIOLA	80
8.13 TRATTO N TRA LE PROG. 13+560 E 13+600 PRESSO IL SANTUARIO DEL CAVALLERO.....	81



9. SINTESI DEI FRANCHI IDRAULICI DELLE OPERE IN PROGETTO.....	82
9.1 CALCOLO DEI FRANCHI IDRAULICI IN CORRISPONDENZA DELL'IMPALCATO DEL PONTE DI BORNATE.....	82
9.2 CALCOLO DEI FRANCHI IDRAULICI IN CORRISPONDENZA DELLE OPERE DI DIFESA IN PROGETTO	83
10. CONFRONTO TRA I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE ALLESTITE DAGLI SCRIVENTI, LE AREE DI PERICOLOSITÀ INDIVIDUATE NEL P.G.R.A. E LE AREE RME DEL PAI.....	85

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Aree allagate Tr 200 anni. Confronto tra *STATO DI FATTO*, *PROGETTO LOTTO 1* e scenari di rischio e pericolosità del P.G.R.A. e del PAI su base CTR.
- ALLEGATO 2 – Aree di esondazione per TR 20, 100 e 200 anni. Confronto *STATO DI FATTO* e di *PROGETTO LOTTO 1* su ortofoto.
- ALLEGATO 3 – Profili idraulici per Tr 20, 100 e 200 anni. Confronto *STATO DI FATTO* e di *PROGETTO LOTTO 1*
- ALLEGATO 4 – Sezioni idrauliche per Tr 20, 100 e 200 anni. Confronto *STATO DI FATTO* e di *PROGETTO LOTTO 1*.
- ALLEGATO 5 – Tabella dei risultati del modello idraulico di simulazione numerica per Tr 20, 100 e 200 anni. Confronto *STATO DI FATTO* e di *PROGETTO LOTTO 1*.



1. PREMESSA

La presente relazione descrive le attività di analisi condotte nell'ambito dello studio idraulico delle piene del torrente Sessera, nel tratto tra la frazione Zuccaro, in Comune di Coggiola, e la confluenza del Sessera nel fiume Sesia, per una lunghezza dell'alveo di interesse di circa 13'600 metri.

L'attività è stata eseguita avvalendosi di simulazioni numeriche idrauliche monodimensionali (viste le caratteristiche di incisione e regimazione dell'asta fluviale), implementate con codice di calcolo HEC-RAS 6.5. per tutta l'asta in analisi mentre nello specifico è stato implementato un modello di calcolo idraulico bi-dimensionale nell'intorno del ponte di Bornate, la cui estensione copre gli interventi in progetto in tale area.

Lo studio idraulico è parte integrante del progetto di *"Intervento di rifunzionalizzazione dell'asta del torrente Sessera dalla confluenza con il fiume Sesia alla frazione Zuccaro"*, ed è volto all'individuazione delle maggiori criticità lungo il tracciato del Sessera e finalizzato alla riduzione del rischio idraulico, alla sistemazione idraulica dell'alveo, alla mitigazione e protezione dall'erosione spondale e alla stabilizzazione della divagazione planimetrica dell'alveo inciso e di piena, fornendo gli elementi per individuare gli interventi di maggior rilevanza da perseguire nell'ambito del presente progetto.

L'attività è stata svolta implementando un nuovo modello monodimensionale di tutta l'asta del torrente Sessera su base DTM a 1 m, avvalendosi di un modello digitale delle superfici (DSM) e del terreno (DTM) realizzati tramite elaborazione digitale delle immagini aeree scattate da n. 5 voli effettuati con drone nelle aree di particolare interesse e sulla base di una integrazione topografica locale effettuata mediante GPS. A seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2020 le zone di maggior interesse sono state, inoltre, oggetto di una nuova campagna di rilievo topografico di dettaglio con rilevamento che ha comportato l'aggiornamento di circa 70 sezioni trasversali d'alveo.

Le simulazioni sono state condotte per tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni in ambito mono-dimensionale ed è stato effettuato un approfondimento idraulico tramite allestimento di un modello bi-dimensionale relativamente al tratto vallivo in località Guardella-Torame. Il modello idraulico di dettaglio ha consentito di verificare le effettive situazioni di criticità idraulica esistenti lungo tutta l'asta fluviale, valutare l'entità e gli effetti degli interventi necessari per la riduzione del rischio ed il contenimento dei livelli di piena nelle zone critiche lungo tutta l'asta del Sessera e consentire di individuare gli interventi maggiormente significativi e prioritari oggetto del presente progetto definitivo (Lotto 1).

L'elaborato si articola a partire dall'inquadramento territoriale dell'area geografica oggetto di studio e prosegue descrivendo le attività propedeutiche condotte per la raccolta dei dati necessari all'allestimento dei modelli numerici di simulazione, riportando le portate di piena di riferimento frutto dell'analisi idrologica di dettaglio esaminata in Elab. D.2.6 – *Relazione idrologica*.

Il capitolo successivo descrive le modalità attraverso le quali si è giunti alla costruzione del modello geometrico del tratto di corso d'acqua interessato dal presente studio. Inserirle le condizioni al contorno e definiti i principali parametri idraulici, sono state effettuate alcune simulazioni di taratura e calibrazione del modello, finalizzate a



verificarne la stabilità di calcolo. Tra le simulazioni di taratura, si è proceduto alla ricostruzione idraulica dell'evento alluvionale occorso nell'ottobre 2020, avendo rilevato, tramite la suddetta strumentazione, le altezze idriche raggiunte dalla piena in alcune sezioni caratteristiche dell'asta indagata.

Successivamente sono state allestite le simulazioni per le portate di piena corrispondenti ai tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni.

La presente relazione riporta quindi i risultati delle simulazioni condotte, focalizzando l'attenzione sulla dinamica di piena e di esondazione del torrente Sessera, sulle criticità e le aree maggiormente soggette a rischio idraulico lungo tutta l'asta e verificando l'efficacia dal punto di vista idraulico delle soluzioni progettuali necessarie per la riduzione del rischio in riferimento agli interventi oggetto del presente progetto Definitivo - Lotto 1, per i quali si rimanda per approfondimenti all'Elab. 1.1 – *Relazione tecnica illustrativa* e agli elaborati grafici.

Si evidenzia pertanto che gli interventi di cui al presente Progetto Definitivo – Lotto 1, inseriti negli output della simulazione idraulica denominata PROGETTO, sono funzionali esclusivamente alla risoluzione delle condizioni di rischio di maggior gravità, ma non coprono l'interesse delle opere ritenute necessarie per la risoluzione delle problematiche di carattere idraulico evidenziate (a scala d'asta) nel presente elaborato.



2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto degli interventi in progetto fa parte del territorio della Val Sessera, valle del Piemonte nord-orientale che interessa le province di Biella e Vercelli, ed in particolare i territori comunali di Coggiola, Portula, Pray, Crevacuore e Borgosesia, dalla frazione Zuccaro, in comune di Coggiola, sino alla confluenza in Sesia in comune di Borgosesia.

Il bacino idrografico del torrente Sessera dalle origini fino alla sezione di confluenza nel fiume Sesia si estende per una superficie totale di oltre 190 km² considerando il bacino chiuso al ponte canale in prossimità della confluenza con il corpo idrico principale; topograficamente è stato individuato sui fogli della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 e sui fogli n. 30 e n. 43 della Carta d'Italia dell'I.G.M. in scala 1:100'000.

La Val Sessera è sita nelle Prealpi biellesi le quali includono, oltre alla stessa, anche il versante idrografico sinistro della porzione più elevata della Valle Cervo.

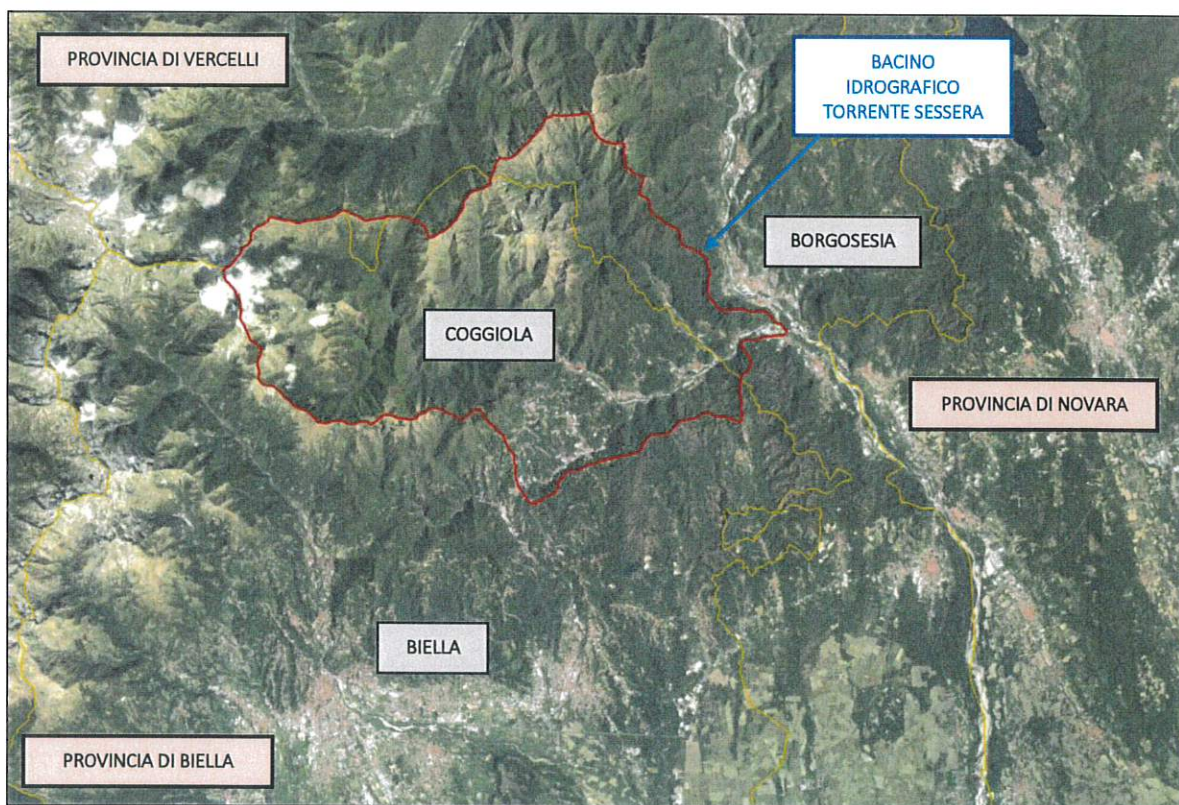


Figura 1 - Inquadramento geografico generale del bacino del Torrente Sessera



2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO DEL TORRENTE SESSERA

Il torrente Sessera, affluente in destra del Fiume Sesia, scorre in una zona profondamente incassata fra ripide pendici, come d'altronde i suoi tributari in quota, e sviluppa il suo corso nella parte più a monte in Provincia di Biella mentre a valle si sviluppa in Provincia di Vercelli.

Circa l'82% di tale bacino, caratterizzato da un'altitudine media di 1271 m s.l.m., è costituito da zone montane i cui rilievi massimi superano i 2500 m s.l.m.

Il bacino del Sessera, caratterizzato da abbondanti precipitazioni di tipo prevalentemente pluviale e nivo-pluviale, presenta un reticolo idrografico molto sviluppato. Il reticolo può essere definito, in base alla distribuzione dei suoi rami, di tipo dendritico ossia di forma arborescente che si sviluppa in ogni direzione con un canale principale che si suddivide in rami sempre meno importanti procedendo da valle verso monte.

L'asta principale del torrente Sessera dall'origine fino alla confluenza nel Fiume Sesia ha una lunghezza di circa 36 km e una pendenza media del 2,7%. La delimitazione dei sottobacini e una dettagliata rappresentazione del reticolo idrografico sono riportati all'interno della *Relazione idrologica* di Elab. D.2.6, al quale si rimanda per una più completa trattazione.

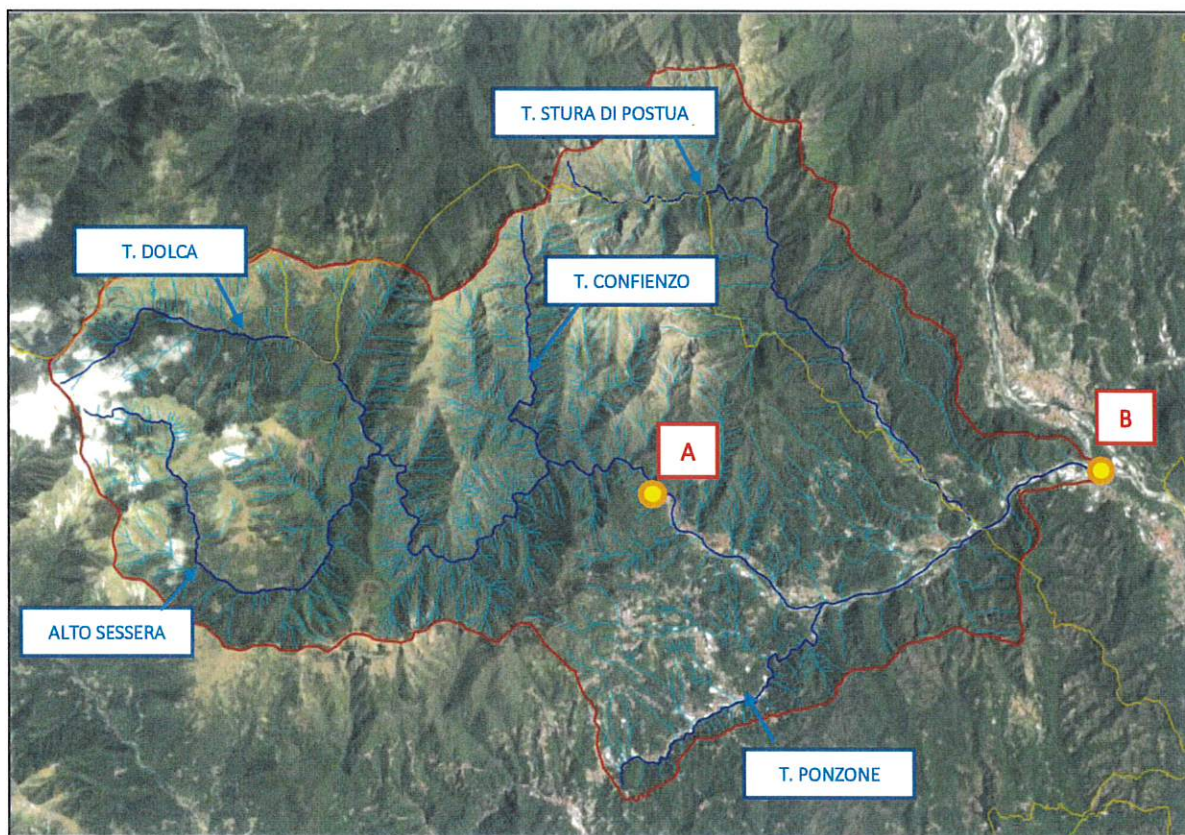


Figura 2 - Inquadramento idrografico del bacino del Torrente Sessera – A -> B rappresenta l'estensione del tronco fluviale in analisi nel presente progetto



2.3 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO DEL TORRENTE SESSERA NEL TRATTO OGGETTO DI INDAGINE

L'alveo del torrente Sessera dall'estremo di monte del tratto oggetto di interesse (Santuario del Cavallero) sino all'abitato di Masseranga si presenta incassato, con alveo inciso di larghezza modesta ed è caratterizzato da numerosi affioramenti rocciosi. L'asse del torrente è pressoché rettilineo, senza curvature di rilievo, fino alla zona valliva di Pray dove, si sviluppa un tratto caratterizzato da fenomeni di sedimentazione, determinati dalla minore pendenza longitudinale.

Il fondo in tale tratto è costituito da un materasso alluvionale e l'alveo assume, in condizioni di deflusso ordinarie, una forma unicursuale leggermente meandrizzata fino alla confluenza con il torrente Ponzzone, a valle della quale presenta una forma a rami multipli che si estende anche oltre il ponte di Pianceri con evidenze più marcate, sino alla confluenza in Sesia.

Il tratto di monte del torrente Sessera, preso in esame, delimita il confine amministrativo tra i comuni di Portula e Coggiola, posti rispettivamente in destra ed in sinistra orografica, mentre il tratto di valle attraversa in ordine i comuni di Pray, Crevacuore, Guardabosone e Borgosesia.

Lungo le sponde del corso d'acqua, nel tratto studiato, insistono numerosi siti residenziali ed attività produttive che nel corso degli anni si sono naturalmente sviluppate utilizzando la preziosa forza motrice delle acque del torrente.

L'alveo a monte della passerella di Zuccaro, in loc. Masseranga, si presenta inciso con materiale di fondo variabile in dimensioni dai grossi massi anche ciclopici ai ciottoli.

A monte della citata passerella pedonale per un tratto di circa 160 m la pendenza del fondo alveo si riduce anche per effetto di una briglia, in massi ciclopici, realizzata per stabilizzare il fondo; tale opera ha determinato un allargamento della sezione di deflusso e il deposito di materiale lapideo di dimensioni decimetriche, successivamente colonizzata da un'area boscata in sinistra idraulica.

A valle della soglia e per un tratto di circa 420 m, sino allo stabilimento Fila, l'alveo del Sessera mantiene una sezione piuttosto ristretta e incisa, con sponde poco vegetate ed alveo in materiale lapideo. Tale tratto è caratterizzato dalla presenza di un ponte metallico funzionale all'attraversamento di una condotta forzata a servizio di un impianto idroelettrico sito in sinistra idrografica.

A valle dello stabilimento Fila e del ponte ad esso adiacente il t. Sessera scorre nel concentrico del comune di Coggiola. In tale tratto l'alveo presenta una forma unicursale leggermente meandrizzata con allargamento di sezione e deposito di materiale incoerente. Il tratto di alveo non inciso è vegetato, mentre in destra idraulica, a ridosso della scogliera cementata, è presente un ramo parallelo che si attiva per eventi di morbida e di piena.

Il fondo alveo immediatamente a valle della passerella pedonale del concentrico di Coggiola è sostenuto da una briglia in c.a. funzionale al passaggio di una condotta fognaria del Co.R.D.A.R. e a consentire la derivazione in sinistra idraulica di un impianto idroelettrico. A valle del ponte Umberto I e della relativa soglia di sostegno dello stesso, l'alveo torrentizio presenta una pendenza più elevata con sezione trasversale di minore ampiezza,



caratterizzata da intrusione di materiale depositato nell'alveo inciso e presenza di vegetazione arbustiva ed arborea anche a medio - alto fusto.

A valle del ponte di via Molino in Comune di Pray, l'alveo ha nuovamente un andamento leggermente meandrizzato con apertura di rami attivabili in condizioni di morbida e dinamiche di divagazione all'interno della sezione piuttosto larga (circa 130 m). In tale tratto il fondo alveo è caratterizzato dalla presenza di depositi incoerenti costituiti perlopiù da ciottoli di dimensioni di 20-35 cm, mentre i tratti maggiormente soggetti a deposito all'interno delle curve del tracciato sono interessati dalla crescita di specie arboree ed arbustive. L'alveo presenta incisioni più marcate in battuta sulle sponde all'esterno delle curve, determinando localmente fenomeni di escavazione al piede delle difese esistenti, come descritto nel dettaglio ai paragrafi successivi.

Il tratto vallivo del corso d'acqua è caratterizzato da pendenze più contenute e divagazioni d'alveo con formazione di rami laterali occasionalmente attivati in condizioni di morbida e, in alcuni tratti (a valle del Ponte di Pianceri e a monte del ponte di Borgosesia, nella zona della Guardella) con formazione di volumi di deposito di materiale lapideo in alveo che hanno portato alla formazione di importanti isole, che in condizioni di piena, limitano in maniera significativa l'efficienza della sezione di deflusso.



3. RILIEVI DELL'ALVEO E DELLE OPERE ESISTENTI

Una corretta modellazione idraulica dei fenomeni di piena volta alla determinazione del profilo dei livelli idrici raggiunti dall'acqua in ogni sezione, non può prescindere dall'esatta conoscenza della geometria del corso d'acqua, ricavabile attraverso rilievi topografici di dettaglio.

La geometria dell'alveo inciso e del fondovalle esondabile, relativa al tratto del T. Sessera in analisi, è stata ricostruita utilizzando fonti informative differenti, opportunamente integrate tra loro.

In particolare, sono stati utilizzati per la verifica idraulica:

- Il modello digitale del terreno (DTM) con risoluzione a terra 1 metro derivante da scansione LiDAR su piattaforma aerea acquisito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale. Le campagne di rilievo sono state effettuate tra il 2008 ed il 2009 e si stima che i punti restituiti abbiano un'accuratezza assoluta di circa 30 cm in planimetria e 15 cm in altezza.
- Il modello digitale delle superfici (DSM) e del terreno (DTM) realizzati tramite elaborazione digitale delle immagini aeree scattate da n. 6 voli effettuati con drone nelle aree di particolare interesse:
 - Ponte di Bornate (Borgosesia): volo effettuato in data 16/01/2019 lungo il tratto vallivo da progr. 1+019 a 3+034;
 - Ponte di Bornate (Borgosesia): volo ripetuto in data 16/03/2023 lungo il tratto vallivo da progr. 0+799 a 2+114;
 - Ponte Pianceri (Pray): volo effettuato in data 01/03/2019 lungo il tratto a cavallo dell'attraversamento in oggetto dalla progr. 7+228 a 7+556;
 - Passerella pedonale (Coggiola): volo effettuato in data 01/03/2019 lungo il tratto a valle del cimitero di Coggiola dalla progr. 10+154 a 10+447;
 - Via Libertà (Coggiola): volo effettuato in data 01/03/2019 lungo il tratto compreso tra le progr. 11+060 e 11+539;
 - Passerella pedonale (Zuccaro): volo effettuato in data 01/03/2019 lungo il tratto compreso tra le progr. 12+408 a 12+647.
- Piano quotato restituito dal rilievo di punti effettuato tramite antenna GPS con la finalità di rilevare:
 - il fondo alveo attuale in n. 46 sezioni nei tratti in cui sono stati effettuati i voli suddetti;
 - le quote delle opere idrauliche esistenti in alveo (traverse, scogliere, argini);
 - le quote di interesse relative agli attraversamenti esistenti sul corso d'acqua in analisi;
 - Le quote di ulteriori elementi, funzionanti come argini o protezioni generiche, a ridosso dell'alveo o nelle vicinanze di zone abitate interessate da una possibile esondazione, funzionali a validare o integrare le informazioni del DTM e del DSM.



- Integrazione topografica a seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2020 con rilievo in alveo di numerose sezioni (circa 70) nei tratti caratteristici dell'alveo oggetto degli interventi di cui al presente progetto.

Le sezioni di calcolo con le quali è stato allestito il modello idraulico sono state generate a partire dal DTM di base con grigliato 1x1 fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con una distanza media di 50 m. Successivamente, ove necessario, si sono inserite ulteriori informazioni relativamente alle quote di fondo alveo inciso rilevate e a quelle relative alle difese spondali, all'ingombro di abitazioni individuate tramite volo con drone nelle zone limitrofe all'alveo o elementi snelli (i.e. muretti di protezione) che per le loro dimensioni fisiche non sono stati rilevati dal volo LiDAR e dunque non presenti nel DTM.

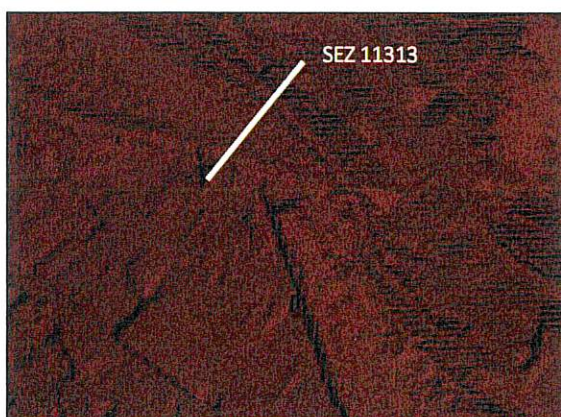


Figura 3 - Estratto DTM 1x1 - nodo idraulico di Via libertà (Coggiola) con traccia XS 11313

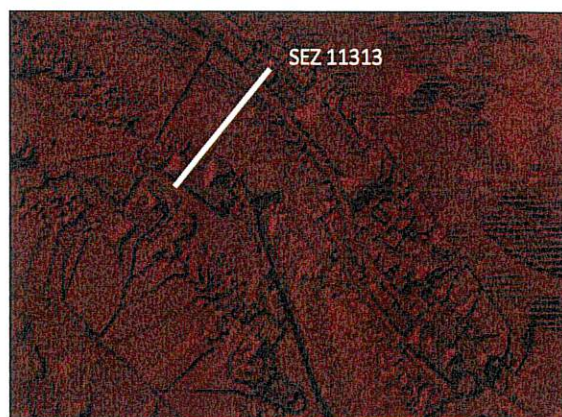


Figura 4 - Estratto DTM 1x1 + DSM drone - nodo idraulico Via libertà (Coggiola) - traccia XS 11313

L'integrazione di tali diversi livelli di informazione ha permesso agli Scriventi in primo luogo di validare le informazioni topografiche di base relative al DTM, riscontrando un buon grado di confidenza, sia rispetto ad i punti rilevati tramite GPS che con il DTM o DSM realizzato da drone. La differenza in termini di quote assolute riferite ad un medesimo punto è stata stimata in media tra i 10 – 15 cm fuori alveo, mentre all'interno dell'alveo inciso, le differenze massime risultano di circa 30 – 40 cm (aree interessate dal deflusso idrico).

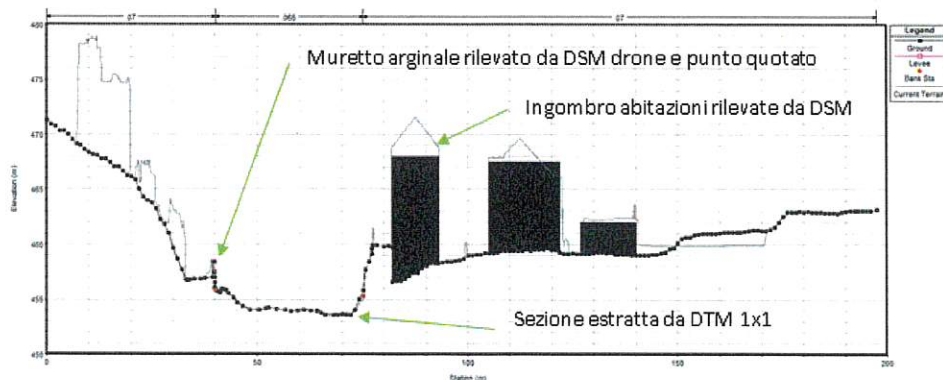


Figura 5 - Sezione trasversale 11313 a monte della traversa per presa idroelettrica in via libertà (Coggiola)



Figura 6 – Alcune fasi di rilievo topografico con tecnologia multisensore (GPS, Laser scanner, stazione totale)

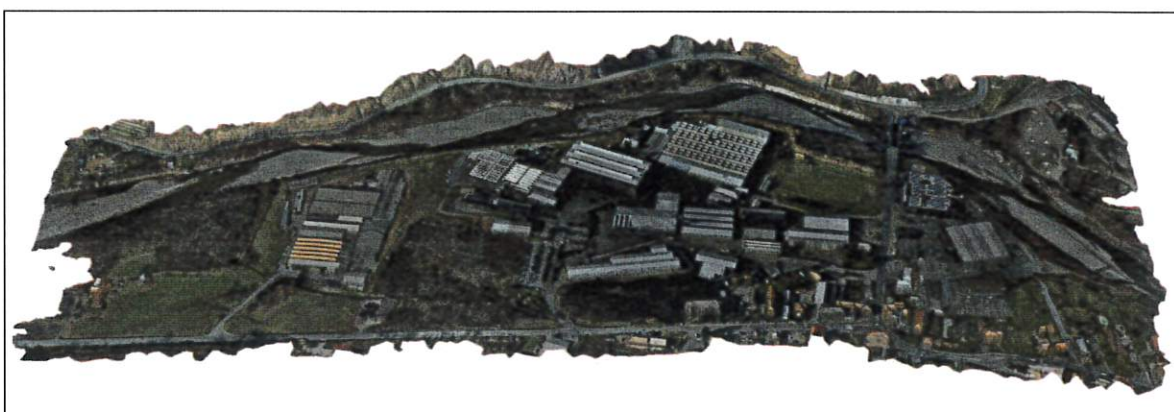


Figura 7 – Modello tridimensionale Triangulated Irregular Network – area di rilievo di circa 67 ha

Particolare attenzione è stata inoltre posta al Ponte di Bornate, per il quale è stato eseguito un rilievo ad hoc “Laser Scanner – Stazione Totale”, che ha consentito di ricostruire le geometrie funzionali all’allestimento del nuovo modello idraulico bidimensionale ed alla redazione del presente progetto.

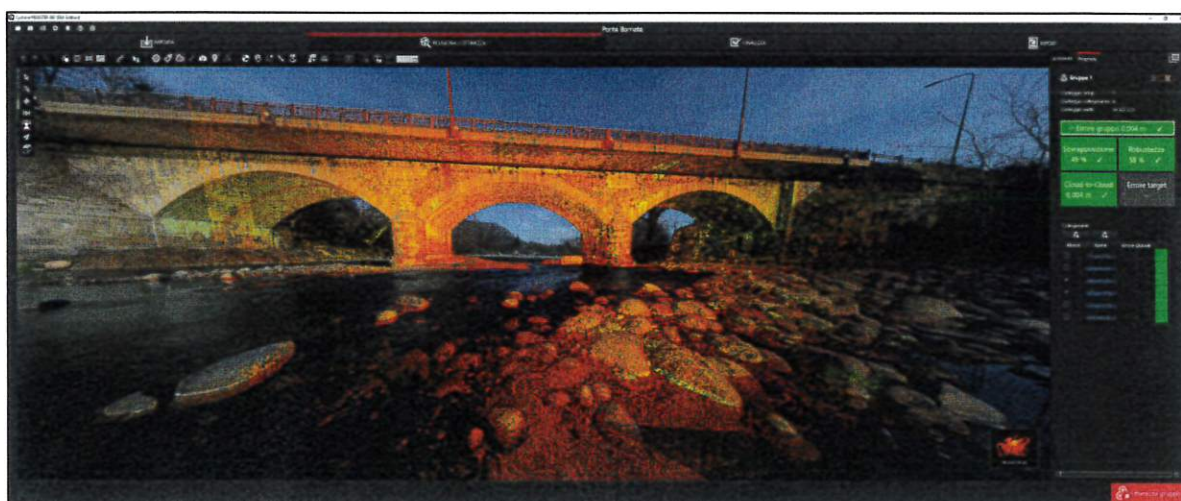


Figura 8 – Vista del modello point-cloud del Ponte di Bornate



4. PARAMETRI IDROLOGICI

Si riporta nel seguito una breve sintesi dell'analisi idrologica sviluppata per la definizione delle portate di riferimento utilizzate per l'allestimento del modello di calcolo. Si rimanda per il dettaglio delle analisi idrologiche che hanno portato all'individuazione dei valori di portata utilizzati nelle simulazioni idrauliche all'Elab. D.2.6 – *Relazione idrologica*.

4.1 RICOSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

Per poter definire le portate di progetto e di verifica idraulica degli interventi, è stata condotta un'analisi pluviometrica dell'area e successivamente, con un adeguato modello di trasformazione afflussi-deflussi, si sono definite le portate di progetto per adeguati tempi di ritorno.

L'area di interesse che concorre alla formazione della portata di piena nei punti di indagine è stata opportunamente suddivisa e schematizzata nel modello per ricostruire il più fedelmente possibile il modello morfologico/idrologico reale che consenta di trasformare gli afflussi dati dalle precipitazioni in deflussi all'interno del corpo idrico (cfr. Figura 9).

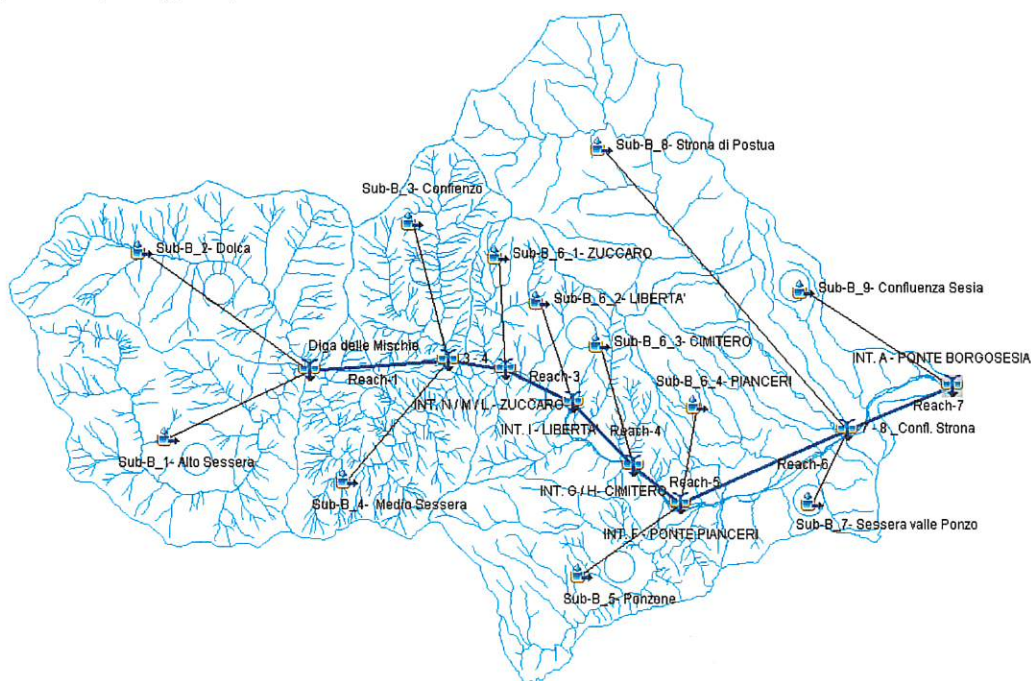


Figura 9 – Schematizzazione del bacino del T. Sessera e individuazione dei nodi di interesse.

Con il modello di simulazione numerica afflussi- deflussi HEC-HMS sono stati calcolati gli idrogrammi per differenti tempi di ritorno alla chiusura dei sottobacini considerati e in corrispondenza dei nodi di riferimento per gli interventi in progetto da utilizzare per le verifiche idrauliche.



4.2 PORTATE E IDROGRAMMA DI RIFERIMENTO

Si riporta in Tabella 1 la sintesi dei valori di portata da utilizzare per la verifica idraulica degli interventi e si rimanda all'elaborato D.2.6 - *Relazione Idrologica* per gli approfondimenti specifici.

Tabella 1 – Portate da utilizzare per le verifiche idrauliche.

Intervento	Sezione di riferimento	Progr. (m)	Q _{Tr20} (m³/s)	Q _{Tr100} (m³/s)	Q _{Tr200} (m³/s)
N / M / L	Fraz. MASSERANGA (Coggiola)	13+595	616	861	936
I	TRATTO I – Via della LIBERTA' (Coggiola)	11+491	667	933	1'013
H / G	TRATTO H / G – CIMITERO (Coggiola)	10+408	688	963	1'046
F / E / D	TRATTO F / E / D – PIANCERI valle Ponzzone (Pray)	7+939	822	1'152	1'252
-	Valle confluenza Strona di Postua	3+883	1'096	1'542	1'679
A / B / C	TRATTO A / B / C – Ponte BORNATE (Borgosesia)	2+785	1'136	1'600	1'742

In particolare, si riporta inoltre l'idrogramma di piena ottenuto con modello numerico HMS alla sezione del ponte di Bornate, utilizzato come condizione al contorno di monte per le simulazioni effettuate tramite l'implementazione del modello di calcolo 2D (§7).

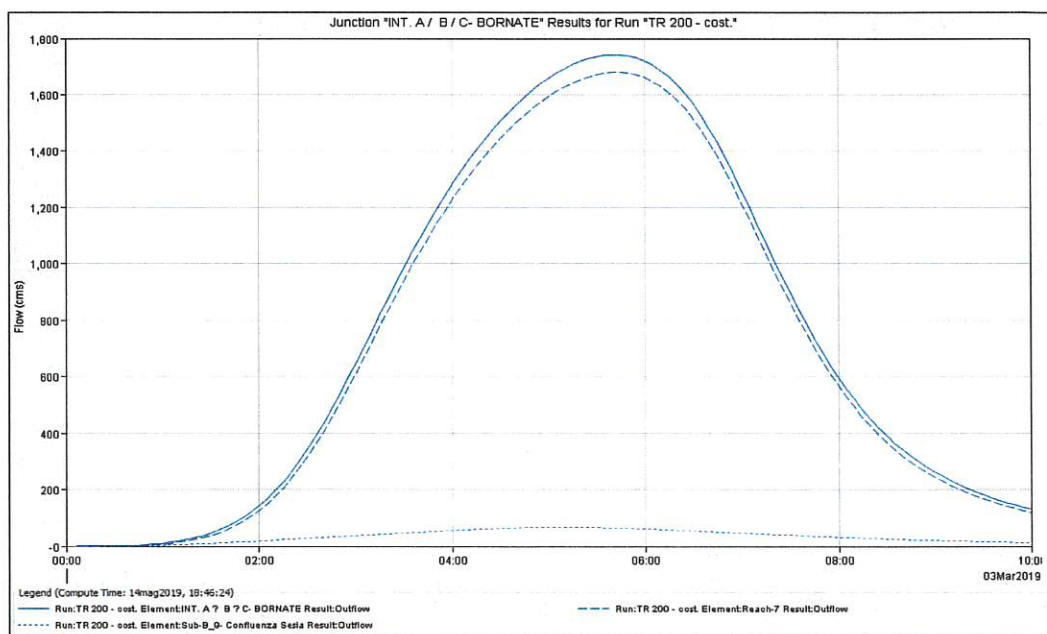


Immagine 1 - Idrogramma Tr200 anni BORNATE.



5. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il P.A.I. è lo strumento giuridico che disciplina le azioni riguardanti la difesa idrogeologica del territorio e della rete idrografica del bacino del Po, attraverso l'individuazione delle linee generali di assetto idraulico ed idrogeologico. Il torrente Sessera non presenta caratteristiche tali da essere inserita nell'elenco dei corsi d'acqua per i quali sono delimitate le fasce fluviali.

Si riportano nel seguito le aree di rischio maggiormente elevato classificate secondo la cartografia PAI reperibile dal geoportale della Regione, riportando nel seguito gli stralci maggiormente significativi.

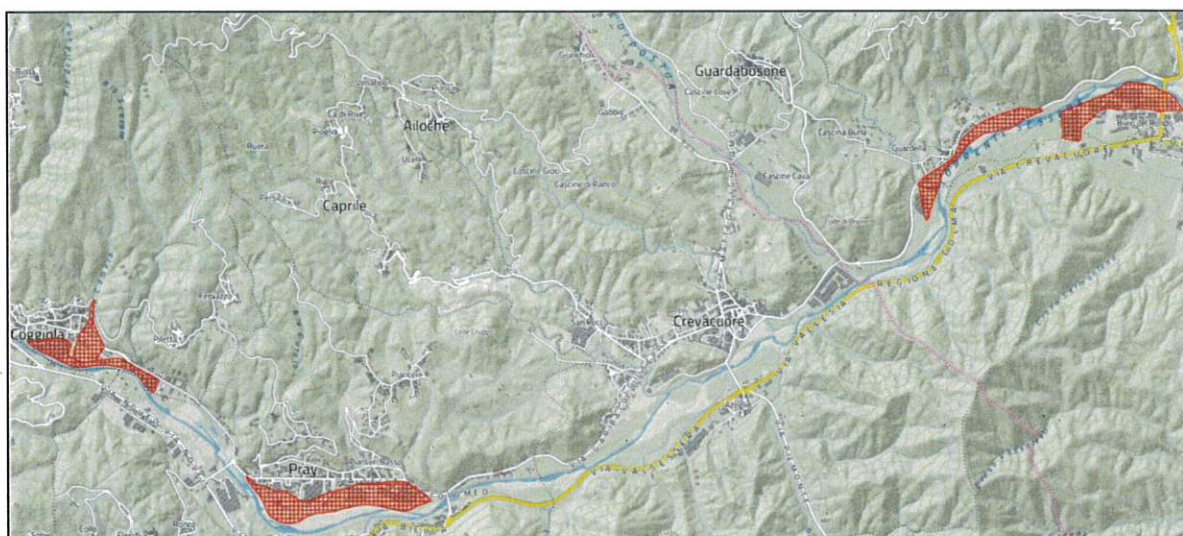


Figura 10 – Aree RME del PAI. Fonte: geoportale della Regione Piemonte

L'area di rischio più a monte interessante le sponde del Sessera nel tratto indagato è quella in sponda sinistra in corrispondenza dell'abitato di Coggiola. La perimetrazione interessa l'area della Bozzalla (edificio dismesso da numerosi anni e in stato di abbandono) a valle del ponte di via della Libertà, la zona del depuratore, ubicato poco a valle, un'estesa area dell'abitato per effetti di esondazione del rio Camera e il tratto di alveo in sponda sinistra a ridosso e valle del cimitero, sino allo stabilimento della società Arcobaleno (attualmente non attivo).

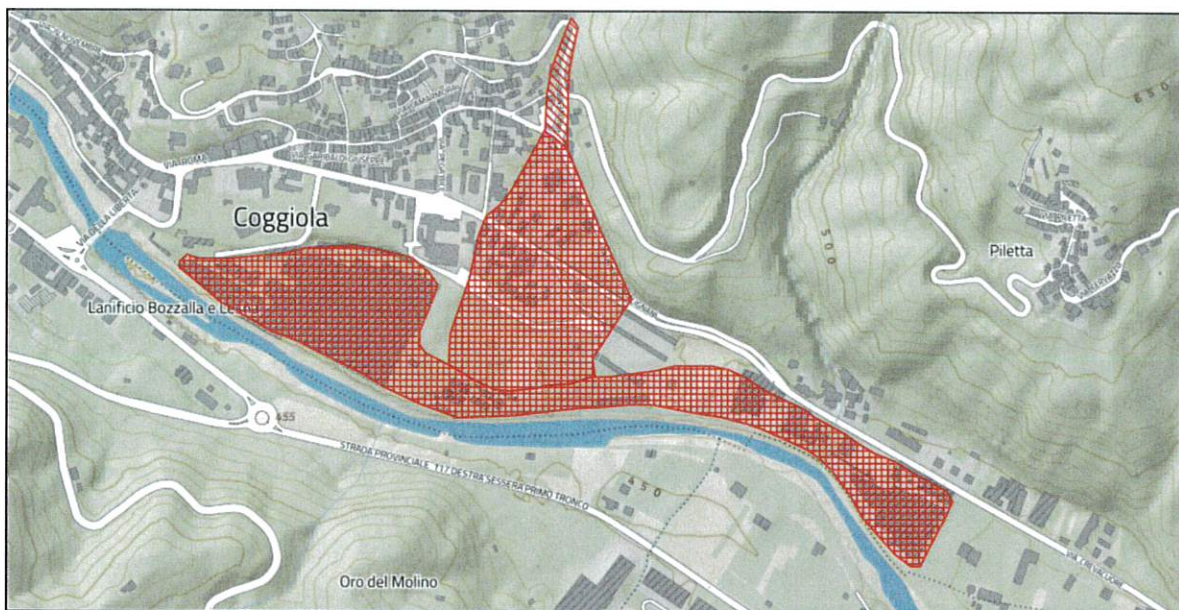


Figura 11 – Aree RME nel tratto a valle del ponte di via libertà e all'altezza del cimitero di Coggiola

È presente una seconda area classificata RME dal PAI in sinistra idraulica in Comune di Pray, a valle del ponte di via Molino. Sebbene tale zona sia classificata ad elevato rischio, l'area è stata protetta dalle dinamiche di esondazione torrentizie per effetto della realizzazione di un argine che costituisce la pista ciclabile a ridosso del parco. Ciò è inoltre evidente dai risultati delle simulazioni idrauliche allestite dagli scriventi.

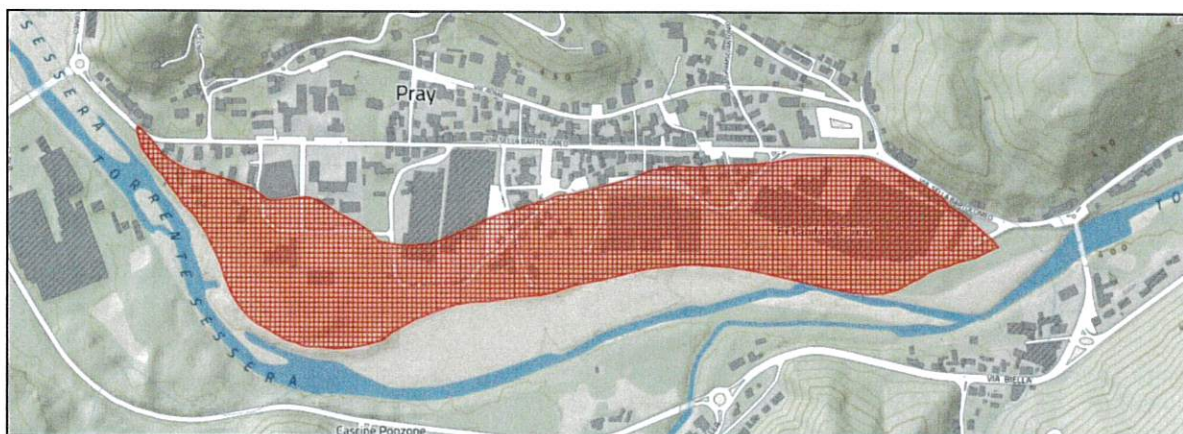


Figura 12 - Aree RME in sinistra idraulica in Comune di Pray

Più a valle è classificata come area RME la zona della Portalupi, della Guardella (Comune di Borgosesia) ed alcune abitazioni presenti in sinistra tra l'alveo inciso del torrente e la viabilità provinciale (via Valsessera).

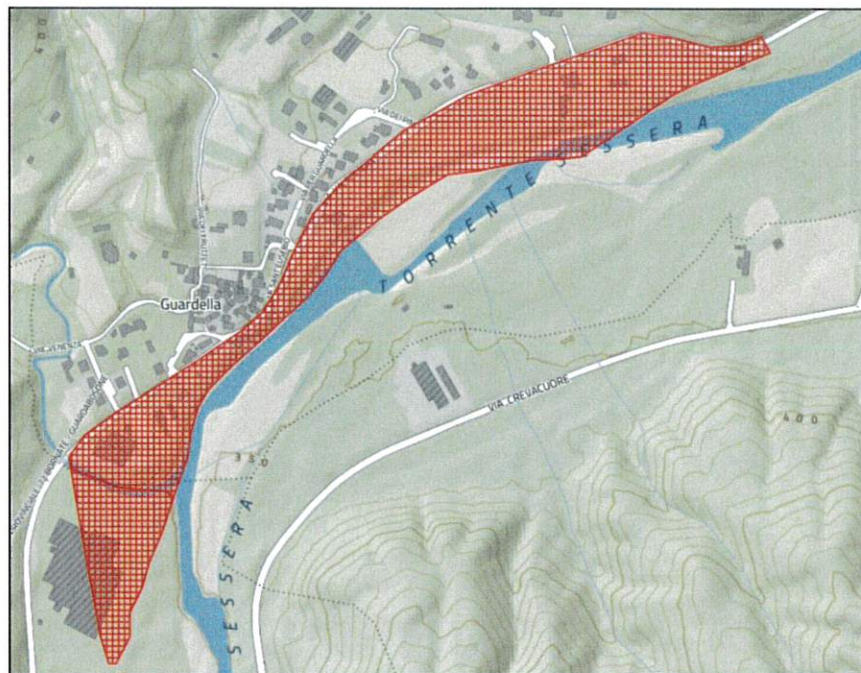


Figura 13 – Area RME a ridosso della Guardella

L'area RME più a valle dell'asta del Sessera è quella interessante tutti i complessi produttivi (lanificio Colombo, PGS, RCN, etc) presenti in destra idrografica a monte del ponte di Bornate in Regione Torame, in Comune di Borgosesia. L'area RME si estende inoltre a valle del ponte interessando il complesso del Carrefour.

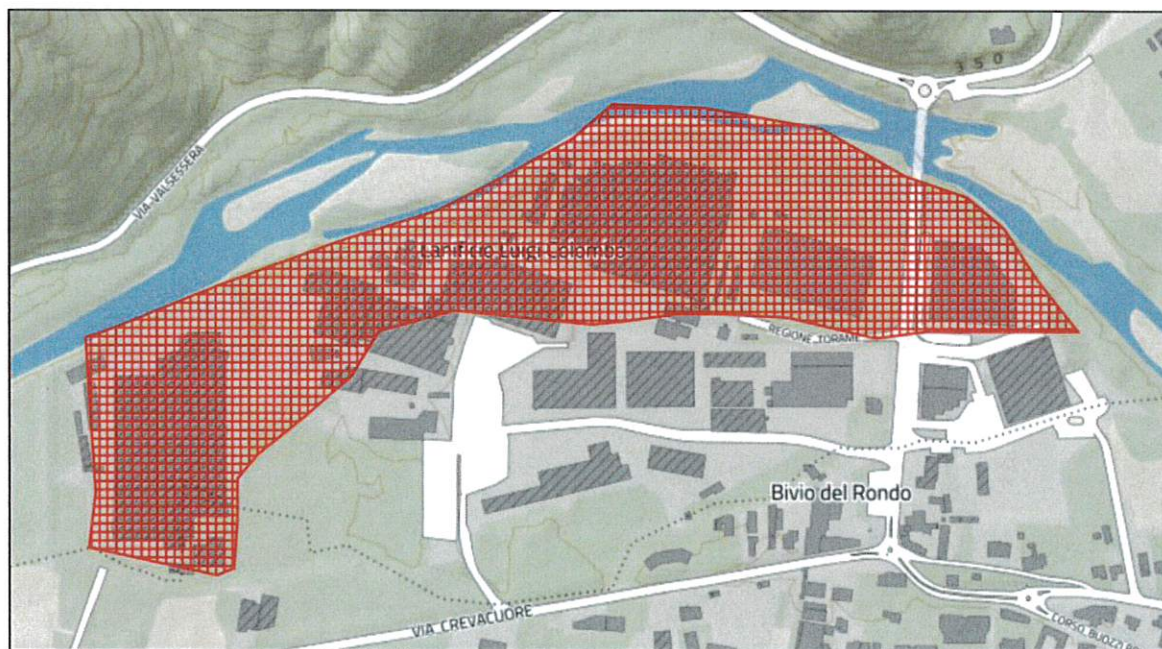


Figura 14 – Area RME in Regione Torame (Comune di Borgosesia)



6. PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (P.G.R.A.)

Il PGRA è lo strumento previsto dalla Direttiva europea 2007/60/CE, recepita nel diritto italiano con D. Lgs. 49/2010, relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni per ridurre gli impatti negativi delle alluvioni sulla salute, l'economia e l'ambiente e favorire, dopo un evento alluvionale, un tempestivo ritorno alla normalità.

Il Piano, riguarda tutto il distretto e viene sviluppato con il coordinamento fra l'Autorità di bacino e le Regioni territorialmente interessate e le Regioni ed il Dipartimento nazionale di Protezione Civile.

In data 16 dicembre 2021 la Conferenza Operativa ha espresso parere positivo sull'Aggiornamento e revisione del Piano di gestione del rischio alluvioni che è quindi pubblicato il 22 dicembre 2021. Con Delibera 5/2021, La Conferenza Istituzionale Permanente ha adottato l'aggiornamento del PGRA ai sensi degli art. 65 e 66 del D. Lgs 152/2006, alla quale mappatura si fa riferimento nel presente ambito.

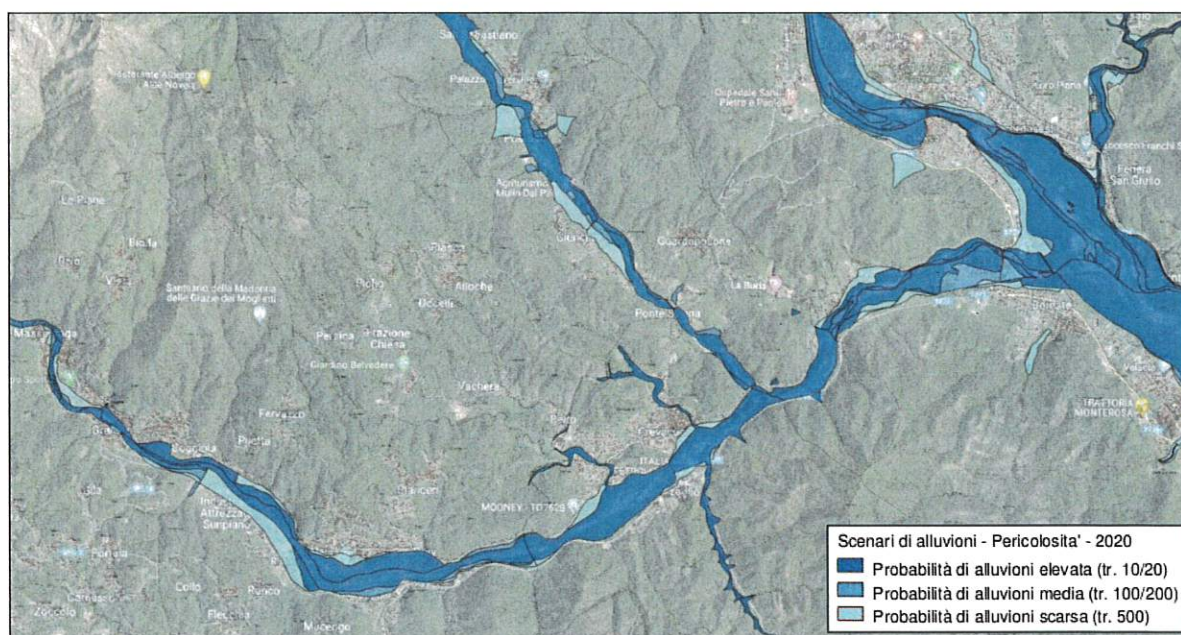


Figura 15 – Stralcio della Direttiva Alluvioni – Scenari di pericolosità 2020

Lo studio idraulico effettuato dagli scriventi, come descritto in maggior dettaglio ai paragrafi successivi, ha consentito di individuare le aree di esondazione per tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni alla luce delle risultanze di un modello idraulico di simulazione del deflusso del t. Sessera su tratto di asta di estensione di circa 13,6 km.

Gli scriventi hanno inoltre effettuato un confronto delle fasce di esondazione del PGRA nella configurazione attuale con i risultati delle simulazioni numeriche (in particolare per eventi di TR 200 anni), verificando in gran parte dell'asta una buona rispondenza di risultati, sebbene alcune zone manifestino diverse risposte, per effetto probabilmente di singolarità locali e opere di arginatura di nuova realizzazione, rilevate dagli Scriventi.

Si rimanda pertanto al § 10 per una descrizione delle singole differenze maggiormente evidenti.



Inoltre, si è proceduto alla rielaborazione delle aree di esondazione alla luce delle risultanze delle simulazioni numeriche nella **configurazione di progetto – Lotto 1 (scenario di simulazione denominato PROGETTO)**, la quale contempla gli interventi necessari per la riduzione del rischio nelle aree oggetto di intervento di cui al Lotto 1.

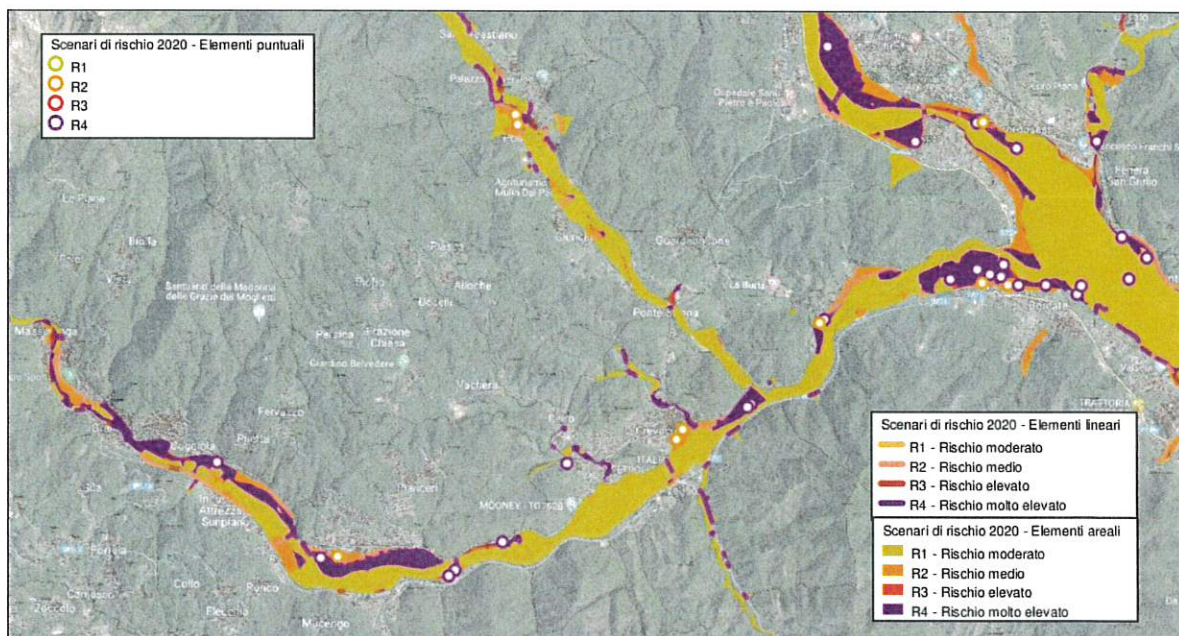


Figura 16 - Stralcio della Direttiva Alluvioni - Scenari di Rischio 2020

Si evidenzia infatti che sebbene nell'ambito del PFTE siano stati individuati gli interventi di carattere idraulico volti alla risoluzione di tutte le criticità emerse dall'analisi idraulica dello *STATO DI FATTO*, **gli interventi di cui al presente progetto Lotto 1 (inseriti nella simulazione idraulica denominata PROGETTO) sono funzionali esclusivamente alla risoluzione delle condizioni di rischio di maggior gravità e non coprono l'interezza delle opere necessarie per la risoluzione delle problematiche di carattere idraulico evidenziate nel presente elaborato.**

Si rimanda all'ALLEGATO 1 per il confronto planimetrico delle fasce di RISCHIO e di PERICOLOSITÀ ai sensi del PGRA e l'estensione dell'area allagata individuata con un contorno schematico dai risultati delle simulazioni numeriche per Tr 200 anni nella configurazione attuale (*STATO DI FATTO*) e nella configurazione teorica degli interventi necessari per la risoluzione delle criticità di cui al Lotto 1 (*PROGETTO*).



7. STUDIO IDRAULICO PRELIMINARE DEI DEFLUSSI DI PIENA DEL TORRENTE SESSERA

7.1 GENERALITÀ

Gli Scriventi hanno allestito un modello numerico monodimensionale di simulazione idraulica del deflusso di piena lungo l'asta del t. Sessera dall'abitato di Zuccaro sino alla confluenza con il fiume Sesia, interessando gli abitati di Crevacuore, Pray, Serravalle Sesia, Portula, Coggiola e Borgosesia.

È stato inoltre allestito un modello di calcolo idrodinamico bi-dimensionale al fine di approfondire le dinamiche torrentizie rispetto alle simulazioni monodimensionali e verificare con maggior dettaglio le aree di esondazione in località Torame e nell'intorno del ponte di Bornate,

i modelli idraulici sono stati allestiti avvalendosi del codice HEC-RAS sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center, River Analysis System dell'US Army Corps of Engineers, utilizzando la recente versione 6.5.

Con esclusione dell'area Torame a monte e in corrispondenza del ponte di Bornate (ove è stata allestita una simulazione con modello bidimensionale), viste le caratteristiche morfometriche dell'alveo del Sessera e le ridotte superfici delle aree di esondazione, le simulazioni sull'intera asta oggetto di studio sono state condotte utilizzando uno schema di simulazione monodimensionale, confrontando inoltre i risultati numerici di calcolo in ciascuna delle sezioni del modello numerico con il DTM del terreno e consentendo in tale maniera di definire le aree di esondazione previste sul territorio anche in corrispondenza delle sezioni intermedie del modello.

Le simulazioni numeriche sono state condotte secondo tre scenari di simulazione:

- TR 20 anni;
- TR 100 anni;
- TR 200 anni, portata di riferimento per la definizione degli interventi in progetto.

Il modello numerico è stato definito sulla base di due configurazioni geometriche:

- A. **STATO DI FATTO**: configurazione rappresentativa delle condizioni di deflusso attuali, a seguito dell'evento di piena di ottobre 2020, definite sulla base dei rilievi topografici a terra, dei rilievi condotti con il drone (DSM) e del DTM (1m x 1m) fornito dal Ministero dell'Ambiente.
- B. **STATO DI PROGETTO**: configurazione geometrica rappresentativa degli interventi previsti nel presente progetto – Lotto 1 necessari per la risoluzione delle criticità ritenute prioritarie dall'analisi dello **STATO DI FATTO**.

Il modello idraulico allestito è infatti lo strumento principale utilizzato dagli Scriventi per l'individuazione delle aree a maggiore pericolosità e delle porzioni di territorio maggiormente soggette a rischio idraulico. Esso consente infatti, nella simulazione numerica delle dinamiche di esondazione dello STATO DI FATTO, di individuare le aree soggette a esondazione con interessamento di edifici, strade, stabilimenti ed aree sensibili.



Procedendo per successive iterazioni e implementazioni del modello numerico, è stato possibile calibrare, nell'ambito della precedente fase progettuale, gli interventi necessari su tutta l'asta. Nell'ambito della presente fase progettuale si è quindi proceduto al dettaglio modellistico delle opere ricomprese nel presente Lotto 1 di interventi coperti da finanziamento.

7.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le simulazioni numeriche sono state realizzate utilizzando il software HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center, River Analysis System dell'US Army Corps of Engineers, in particolare è stata utilizzata l'ultima versione disponibile 6.5.

A partire dalle ultime versioni HEC ha aggiunto la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale all'interno della simulazione condotta in regime di moto vario. Gli utenti possono quindi eseguire una modellazione in moto vario con schema monodimensionale (1D) combinato anche con uno schema quasi-bidimensionale e/o bidimensionale puro (2D) con l'aggiunta di un'area 2D nel modello. Inoltre, si è aggiunta la possibilità di visualizzare i risultati di una simulazione monodimensionale (1D) eseguita in moto permanente, in termini di aree di esondazione, su di un DTM associato alla geometria del modello 1D. Tale metodologia non prevede un bilancio di volume idraulico relativamente alle portate esondate, dunque non consente di tenere in conto gli effetti legati alla divagazione planimetrica della piena ed alla laminazione offerta da alcune aree golenali. I livelli idrici vengono interpolati automaticamente tra le successive sezioni di calcolo riempiendo le celle del DTM che risultano a quota inferiore del livello calcolato. Questo permette di visualizzare le aree di esondazione, in maniera realistica e cautelativa, anche nelle porzioni di terreno tra le successive sezioni di calcolo.

7.2.1 HEC-RAS mono-dimensionale

I modelli sviluppati con HEC-RAS 1D descrivono il moto monodimensionale, stazionario, di una corrente non uniforme, tale che, in ogni sezione, la distribuzione delle pressioni possa essere considerata di tipo idrostatico. Il modello è a fondo fisso e può applicarsi senza problemi con pendenze di fondo non troppo elevate (non superiori al 10%).

Il calcolo effettuato nelle suddette ipotesi risulta sicuramente cautelativo, in quanto è noto dall'idraulica fluviale che, in condizioni di moto permanente, le portate al colmo defluiscono con una quota idrica superiore a quella che si verificherebbe (per la stessa portata) in condizioni di moto vario. Le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione (dove le variabili sono note) e passando alla successiva, posta a monte o a valle a seconda che il regime sia, rispettivamente, subcritico o supercritico. Ciò avviene risolvendo, con una procedura iterativa nota come standard step, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni, nota anche come equazione di Bernoulli:

$$h_m + z_m + \frac{\alpha_m V_m^2}{2g} = h_v + z_v + \frac{\alpha_v V_v^2}{2g} + \Delta H$$



dove, avendo indicato con il pedice m le grandezze che si riferiscono alla sezione di monte e con il pedice v quelle della sezione di valle, si ha:

- h_m e h_v sono le altezze idriche;
- z_m e z_v sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;
- V_m e V_v sono le velocità medie;
- α_m e α_v sono i coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;
- ΔH è la perdita di carico tra le due sezioni.

Il modello prevede una schematizzazione idraulica dell'alveo, attraverso una successione di sezioni trasversali, perpendicolari al vettore velocità della corrente. Ogni sezione può essere anche solo parzialmente interessata dal deflusso idrico. In caso contrario, ovvero di una sezione trasversale interamente contribuente al deflusso, il modello non è in grado di simulare le esondazioni in destra o sinistra idrografica, ossia oltre l'estensione topografica rilevata della sezione.

Nella procedura di calcolo, per la determinazione delle caratteristiche idrauliche della corrente, è necessario determinare l'area della sezione bagnata, il perimetro bagnato, il raggio idraulico e la larghezza della sezione in corrispondenza di un determinato valore della superficie libera. Ogni sezione viene ulteriormente distinta in tre parti, ovvero la parte in cui transita il filone centrale della corrente (channel) e le parti laterali perifluviali, in destra e in sinistra idrografica (right/left overbank, indicate con gli acronimi ROB/LOB). Per tenere in conto la sinuosità del corso d'acqua, il software permette di indicare il valore della distanza tra sezioni consecutive (parametro Downstream reach length), differenziando, tra due sezioni consecutive, il valore della distanza per la parte del channel, e per quelle dei ROB e LOB e dando la possibilità di specificare valore differenti del parametro di scabrezza.

La valutazione delle perdite di carico è effettuata tramite la formula empirica di Chezy, in cui il parametro χ è espresso tramite il coefficiente n di Manning (espresso in $s \cdot m^{-1/3}$).

Per la valutazione degli effetti di rigurgito dovuti alla presenza di ostacoli quali pile, ponti o una qualunque altra struttura in alveo, il software fa riferimento all'approccio basato sul principio delle quantità di moto totali (equazione globale dell'equilibrio dinamico).

7.2.2 HEC-RAS bi-dimensionale

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC-RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione 1D/2D combinata. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche, che rappresentano le potenzialità e l'innovazione del codice di calcolo non solo rispetto alla modellazione monodimensionale, ma anche rispetto ai più datati codici bidimensionali esistenti.

1. **Modellazione combinata 1D e 2D:** La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi,



utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale, e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi.

2. **Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D:** Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabili a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
3. **Algoritmo di soluzione ai volumi finiti:** Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai Volume finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce un miglioramento della stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.
4. **Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D:** Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia.
5. **Maglie computazionali strutturate e non strutturate:** Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle di calcolo possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
6. **Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo:** ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pretrattata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione, vedi Figura 17.

Nella Figura 17 a sinistra è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo di ogni cella sono rappresentati dai nodi neri e sono i luoghi dove sono calcolati il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante. Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. Un esempio di un piccolo canale che attraversa celle della griglia molto più grandi è illustrato nella Figura 17, che presenta diversi canali che sono molto più piccoli della dimensione media della cella utilizzata



per modellare la zona. Tuttavia, come illustrato nella figura medesima a destra, il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.

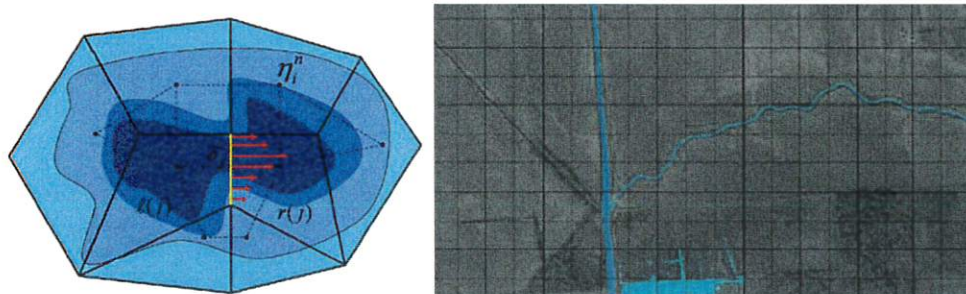


Figura 17 - Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno ed esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

7. **Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni:** la perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo.
8. **Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore:** il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori sono in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.



7.3 GEOMETRIA DI RIFERIMENTO 1D E 2D

Il modello 1D implementato utilizza la base topografica di maggior dettaglio ad oggi possibile, , rappresentata dal **Modello Digitale del Terreno (DTM)** realizzato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (M.A.T.T.M. – oggi Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento (P.S.T.) con volo LIDAR del 2008, che presenta un'elevata precisione altimetrica (± 0.15 m) e planimetrica (± 0.30 m),

Come si è detto precedentemente, tale base topografica è stata integrata ove necessario con informazioni topografiche ottenute dal modello digitale delle superfici (DSM) e/o DTM elaborato da voli con drone e tramite rilievi in campo con strumentazione GPS.

È stata inoltre effettuata una nuova campagna di indagine topografica a seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2020 che ha consentito di rilevare la nuova configurazione dell'alveo nelle aree di maggior interesse, aggiornando la geometria di riferimento alla condizione odierna.

Il modello del terreno associato alla geometria di calcolo è riportato in Figura 18.

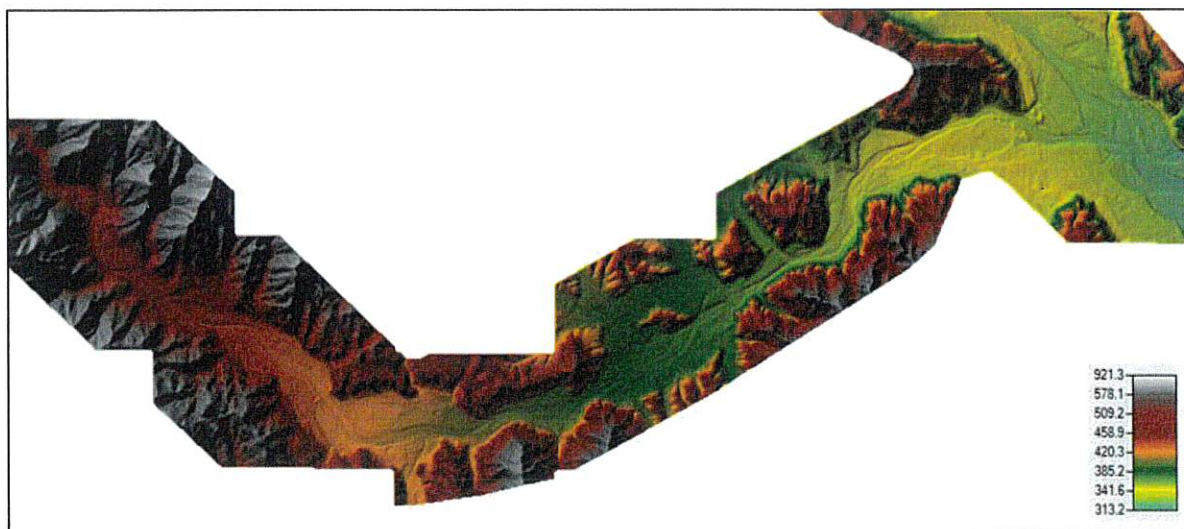


Figura 18 - DTM 1m x 1m del Ministero dell'Ambiente utilizzato come base topografica e geomorfologica di partenza per l'implementazione del modello di deflusso monodimensionale (1D) del Torrente Sessera

Il modello di calcolo 2D allestito utilizza la medesima base topografica suddetta, come "layer" di base, integrata da rilievi in campo effettuati dagli scriventi nel mese di gennaio 2023 con antenne GPS, Stazione Totale, tecniche fotogrammetriche sfruttando immagini scattate tramite volo S.A.P.R. e tecnologia Laser Scanner (§3), il che ha permesso di rilevare in modo estremamente accurato soprattutto l'alveo inciso, oltre che le aree golenali, vista l'importante variazione morfologica occorsa a seguito dell'alluvione del 2020.

Tale base topografica permette quindi una simulazione della dinamica fluviale sulla base geometrica di calcolo più accurata ad oggi possibile, della quale è riportata una rappresentazione in Figura 19.

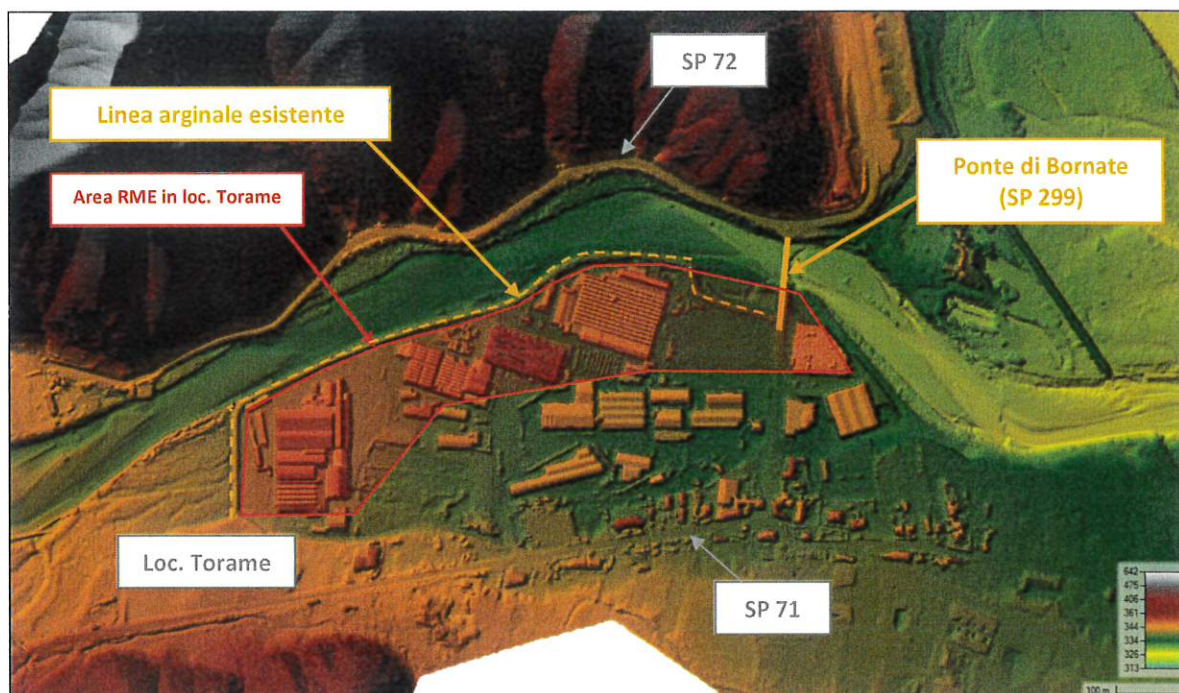


Figura 19 – Particolare della loc. Torame in Comune di Borgosesia (VC) e delle aree RME sul DTM di calcolo.

7.3.1 Geometria dello stato di fatto 2D

La geometria principale sulla quale si sono basate le simulazioni effettuate in ambiente 2D è quella relativa allo stato di fatto. Come detto, tale base geometrica di calcolo è stata sviluppata sulla scorta delle informazioni topografiche desunte dal DTM passo 1 m, opportunamente integrate dai rilievi di dettaglio effettuati dagli Scriventi nel mese di marzo 2023 (§3) e modificate per adattarsi al meglio agli obiettivi ricercati.

Il modello di calcolo allestito è un bidimensionale puro, dove la base geometrica è rappresentata direttamente dalla base topografica disponibile discretizzando le informazioni tramite la mesh di calcolo, realizzata in maniera opportuna in funzione delle dimensioni dell'alveo principale, andando ad infittire le celle laddove necessario. In ogni caso il dominio di computo è stato sufficientemente esteso in modo:

- da rendere trascurabili le imprecisioni di calcolo che si manifestano nell'intorno delle interfacce su cui sono applicate le condizioni al contorno di monte e di valle;
- da comprendere trasversalmente le aree interessate dai deflussi di piena.

In particolare, l'area di studio si estende da valle della traversa di derivazione alla Guardella sino al ponte canale a valle del Ponte di Bornate: il dominio di calcolo è dunque centrato sul tratto del Torrente Sessera al passaggio dell'estesa area industriale posta in destra appena a monte del ponte di Bornate (Figura 20), classificata come vista in area RME (cfr. §5).

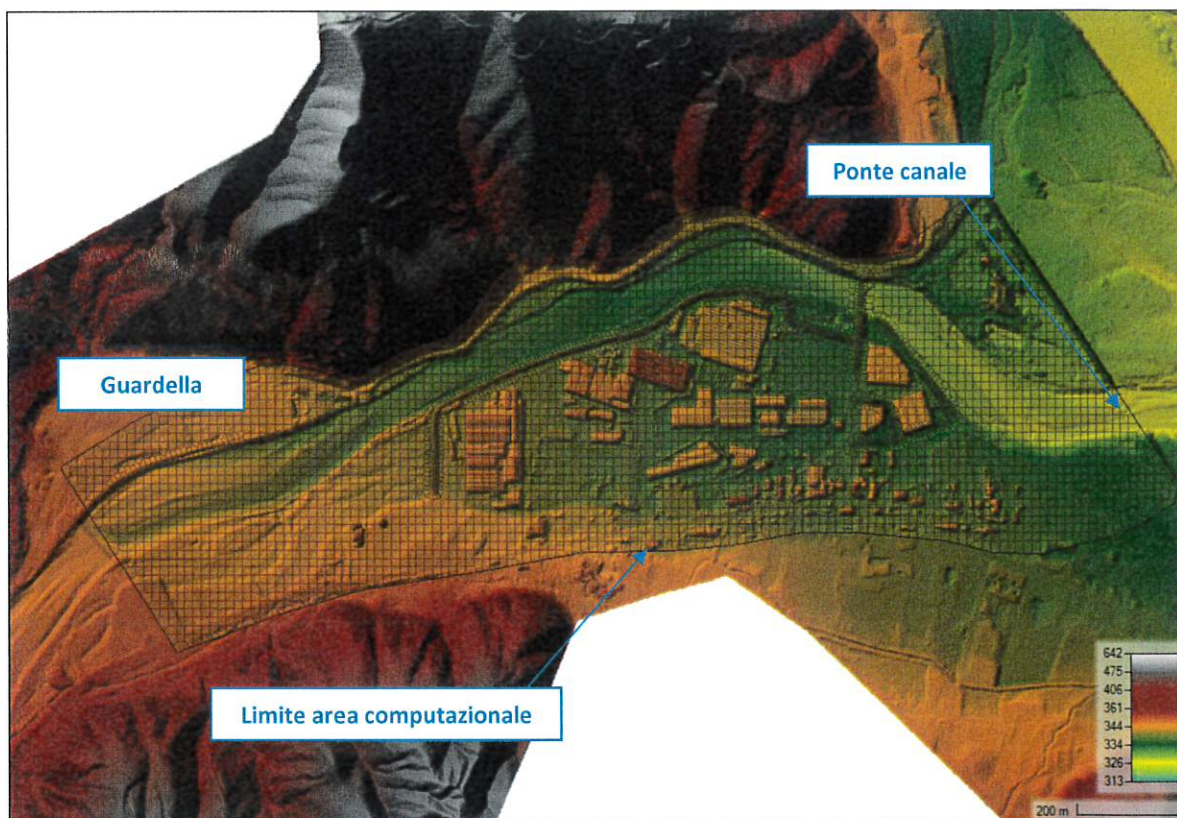


Figura 20 – Geometria dello stato di fatto con base DTM di calcolo e rappresentazione dell'estensione del dominio di calcolo e discretizzazione delle celle lungo l'asta oggetto di studio.

La maglia è costituita da circa 8'800 celle di calcolo per un'estensione complessiva di quasi 1,0 km².

Con la finalità di dettagliare in maniera ottimale le dinamiche di alluvionamento dell'area Torame, vista la conformazione dell'alveo stesso, delle opere idrauliche e infrastrutturali presenti, e del comportamento in piena, il quale determina oltre a certi valori di portata, esondazioni e divagazione in area golenale, superando l'arginatura esistente in destra, con deflussi non strettamente correlati tra alveo inciso e piana golenale, il modello monodimensionale già allestito nell'ambito del PFTE a scala d'asta risulta meno adatto allo scopo, poiché lungo la stessa sezione idraulica il livello raggiunto in fase di piena non è nella realtà lo stesso nell'alveo inciso e nell'area industriale sita oltre la linea arginale.

Il modello idraulico bidimensionale allestito permette, invece, di apprezzare con maggior dettaglio il deflusso sul terreno caratterizzato da quote della superficie libera che variano da punto a punto in funzione delle quote del terreno consentendo il calcolo dei tiranti e delle relative velocità simultaneamente in relazione al deflusso in alveo inciso e nelle zone golenali ed in particolare consente di studiare in dettaglio il deflusso lungo l'area industriale per i livelli idrici di piena che determinano il superamento della quota arginale.



Definita la dimensione della rete di calcolo (mesh di calcolo) e i parametri di scabrezza (§7.3.3), si è proceduto all'inserimento del Ponte di Bornate ed all'infittimento delle celle nelle zone in cui si è reso necessario avere una migliore discretizzazione della morfologia del terreno, dell'alveo inciso ed in particolare dei limiti spondali.



Figura 21 – Dominio di calcolo e rappresentazione della maglia su base DTM: dettaglio di infittimento delle celle di calcolo in alcune aree di maggiore interesse per lo studio del deflusso di piena, quali in particolare la linea arginale a difesa degli stabilimenti limitrofi e il rilevato stradale dal quale emerge il ponte di Bornate.

7.3.1 Geometria dello stato di PROGETTO 2D

Sulla base topografica su descritta relativa alla condizione geometrica dello stato di fatto sono stati inseriti gli interventi in progetto relativi alla località Torame, direttamente nel DTM di calcolo e discretizzando in maniera opportuna la mesh di calcolo sulla traccia delle opere in progetto.

Gli elementi in progetto inseriti nella relativa geometria di riferimento sono i seguenti:

- ✓ **Interventi A1/A3:** intervento principale in loc. Torame, dove si prevede l'ampliamento del Ponte tramite l'apertura della IV° campata in destra idraulica con sistemazione della soglia di stabilizzazione del fondo;
- ✓ **Intervento A2:** intervento di riprofilatura dell'alveo a monte con ampliamento della sezione d'alveo a ridosso del ponte per apertura e convogliamento verso la nuova campata del ponte;
- ✓ **Intervento A4:** Realizzazione di nuova scogliera in destra a protezione dell'ampliamento della sponda;



- ✓ **Intervento B1:** Intervento nell'area a monte tramite realizzazione di nuova scogliera in sinistra;
- ✓ **Intervento B2:** intervento relativo all'innalzamento dell'argine esistente in destra a difesa degli edifici industriali;
- ✓ **Intervento B3:** Intervento di difesa del paramento dell'argine lato alveo, in destra, tramite sistemazione di alcuni tratti della scogliera esistente e realizzazione di nuovi tratti di scogliera laddove l'esistente risulta eccessivamente ammalorata;
- ✓ **Intervento B4:** innalzamento del muro esistente a tergo del tratto di innalzamento dell'argine nella direzione parallela al Torrente, per contenimento del nuovo terrapieno.

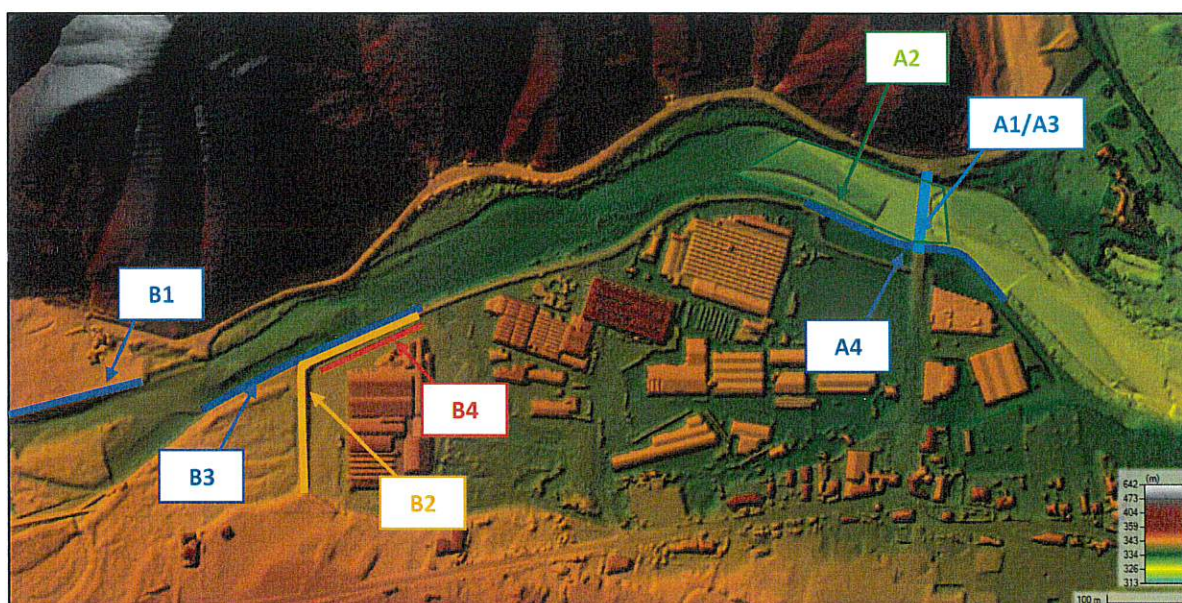


Figura 22 – Dettaglio della base di calcolo DTM nelle condizioni geometriche di PROGETTO

7.3.2 Sezioni di calcolo 1D

Il modello monodimensionale del Torrente Sessera è stato costruito su un tratto di asta fluviale di lunghezza di circa 13,5 km; le sezioni trasversali di calcolo, riportate nella planimetria rappresentante le aree di esondazione in ALLEGATO 2, sono circa 270, considerando anche quelle relative ai vari attraversamenti.

La distanza media tra le sezioni è circa 50 m; nei tratti che non presentano particolari criticità sono state distanziate maggiormente fino a circa 100 m, mentre nei tratti di maggior interesse ed in prossimità di attraversamenti o di forti variazioni del fondo (soglie, salti, avvallamenti, ecc.) sono state notevolmente infittite e ravvicinate. Per maggiori dettagli grafici sulle geometrie delle sezioni rilevate sul Torrente Sessera si rimanda agli allegati del modello (cfr. ALLEGATO 2, ALLEGATO 3 e ALLEGATO 4).



Dovendo procedere con il calcolo da valle verso monte, tutte le sezioni sono state nominate con la loro progressiva rispetto alla sezione di valle.

I principali dati topografici relativi al tratto considerato si possono così sinteticamente riassumere:

- **Lunghezza totale tratto:** 13,6 km
- **Quota minima fondo alveo:**
 - **Sezione monte:** 498,6 m s.l.m.
 - **Sezione di valle:** 319,5 m s.l.m.
- **Pendenza media dell'intero tratto:** 1,3 %
- **Larghezza alveo:** variabile da 25 a 120 m

7.3.3 Parametri di scabrezza

Per quanto riguarda le condizioni di scabrezza del T. Sessera sono stati utilizzati dei valori del parametro n di Manning calcolati coerentemente con le linee guida di cui alla "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" (Allegato alla deliberazione n. 2/99, 11/05/1999) e con quanto definito in alcune pubblicazioni specialistiche (*Roughness Characteristics of Natural Channels - Harry Barnes*), ovvero considerando le condizioni del terreno, lo stato vegetativo, il grado di sinuosità, l'irregolarità della superficie della sezione, e la variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale. Valori di scabrezza del tutto analoghi sono stati inoltre considerati in numerosi precedenti studi condotti sulla medesima asta torrentizia.

In particolare, i valori assunti nel calcolo idraulico sono i seguenti:

Tabella 2 - Sintesi dei coefficienti n di Manning utilizzati nel modello di simulazione idraulica

Progr. [m]	n [$s\ m^{-1/3}$] sponda sinistra	n [$s\ m^{-1/3}$] centro alveo	n [$s\ m^{-1/3}$] sponda destra
da 13+595 a 12+818	0,075	0,075	0,075
da 12+692 a 12+606	0,075	0,065	0,075
da 12+564 a 12+296	0,07	0,065	0,07
da 12+287 a 11+881	0,07	0,05	0,07
da 11+849 a 11+697	0,075	0,075	0,075
da 11+682 a 10+066	0,07	0,065	0,07
da 10+001 a valle	0,07	0,05	0,07

I limiti dell'alveo attivo sono stati fissati sulla base dell'osservazione delle più recenti ortofoto dell'area di studio e hanno poi avuto una successiva calibrazione manuale sulle singole sezioni del modello.

I valori dei coefficienti sono stati differenziati lungo l'asta fluviale viste le differenti caratteristiche del terreno riscontrate nel progredire da valle verso monte. In particolare, nelle aree golenali si sono considerati valori del coefficiente n di Manning variabile tra 0,07 – 0,075 $s\ m^{-1/3}$, considerando la presenza di importante vegetazione spondale, mentre in alveo si sono considerati valori del coefficiente n di Manning variabili tra 0,05 – 0,075



considerando la granulometria di fondo che, se pur variabile, è caratterizzata in maggior percentuale da diametri elevati e la saltuaria presenza di vegetazione, ostacoli e buche le quali comportano un incremento importante in termini di resistenza al deflusso idrico.

Nell'ambito della modellazione 2D invece, il parametro di scabrezza è stato attribuito alle singole celle della mesh di calcolo mediante approfondita analisi dell'uso del suolo con il supporto della classificazione eseguita nell'ambito del progetto "Corine Land Cover" e in funzione della differente risposta in termini di resistenza al deflusso della corrente idrica (Figura 23). In particolare, le principali classi di uso del suolo adottate sono state le seguenti: *alveo attivo, barre/isle vegetate, robinieto, aree industriali/commerciali e aree verdi urbane*:

Tabella 3 – Valori del parametro di scabrezza adottati nel modello di calcolo 2D.

LCP	Alveo attivo	Isole vegetate	Robinieto	Aree industriali	Aree verdi urbane
$n [m^{1/3}/s]$	0.05	0.05	0.07	0.016	0.03

Per ciascuna classe di uso del suolo si è provveduto ad associare il più opportuno valore del coefficiente di scabrezza individuato secondo la formulazione di Manning, in accordo con i valori già adottati nella modellistica 1D del T. Sessera a scala d'asta allestita dagli Scriventi e relativa al PFTE avente titolo "Intervento di rifunionalizzazione dell'asta del T. Sessera dalla confluenza con il Fiume Sesia alla Frazione Zuccaro".

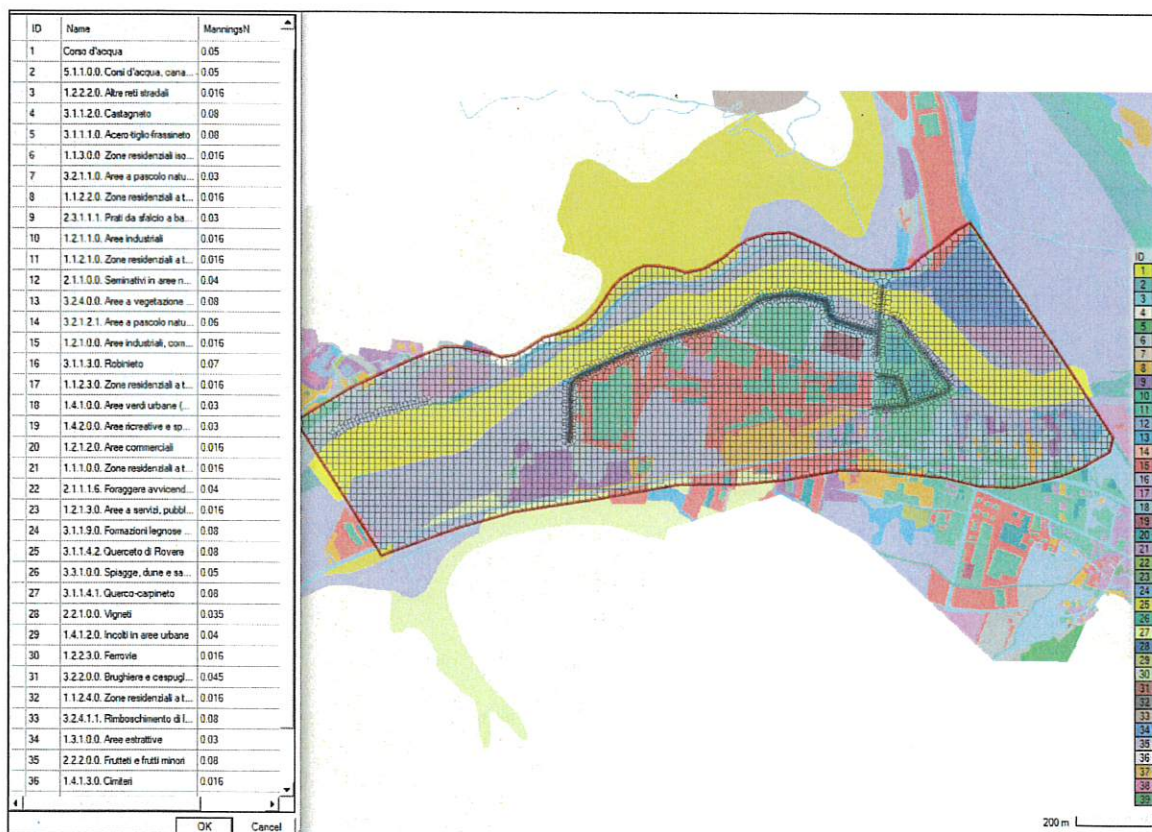


Figura 23 – Suddivisione del modello in aree caratterizzate da differenti coefficienti di scabrezza.



7.3.4 Ponti e infrastrutture

Gli attraversamenti, carrabili o pedonali, e le infrastrutture inserite all'interno del modello monodimensionale (1D) di simulazione idraulica sono n. 11 complessivamente. Si riporta nel seguito un elenco dei ponti implementati nel modello numerico di simulazione idraulica, indicando inoltre la superficie disponibile per il deflusso idrico (indicata nel seguito con **A**):

• Ponte canale (Borgosesia)	$A = 533,6 \text{ m}^2$
• Ponte di Bornate (Borgosesia – SP299)	$A = 355,6 \text{ m}^2$
• Ponte di Crevacuore (Via A. Gramsci)	$A = 407,3 \text{ m}^2$
• Ponte Pianceri (Pray – Via Biella)	$A = 195,8 \text{ m}^2$
• Ponte nuovo di Pray (Via Molino)	$A = 387,0 \text{ m}^2$
• Passerella pedonale (cimitero di Coggiola)	$A = 218,0 \text{ m}^2$
• Ponte valle intervento via libertà (Fraz. Granero)	$A = 321,1 \text{ m}^2$
• Passerella pedonale (Coggiola – Via libertà)	$A = 201,7 \text{ m}^2$
• Ponte Umberto I ex FILA (Coggiola)	$A = 210,7 \text{ m}^2$
• Ponte condotta forzata (Coggiola)	$A = 208,7 \text{ m}^2$
• Passerella pedonale (Masseranga)	$A = 168,2 \text{ m}^2$

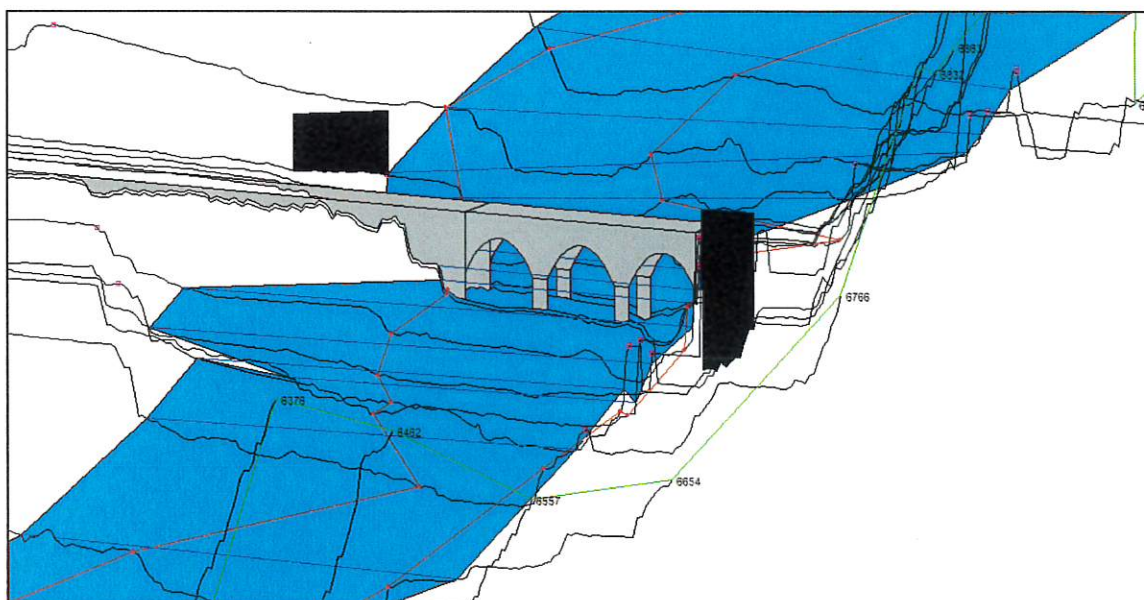


Figura 24 - Ponte Pianceri di Pray - Esempio attraversamento implementato nel modello di calcolo – Il livello idrico in figura rappresenta la portata al colmo per la piena di TR 20 nella configurazione dello STATO DI FATTO

I rilievi dei ponti e le relative quote assolute sono stati recepiti dagli Scriventi ed integrati con rilievo GPS per il corretto posizionamento altimetrico nelle rispettive sezioni.



A seguito del rilievo di dettaglio effettuato tramite tecnologia Laser Scanner del ponte di Bornate posto a valle dell'area industriale, è stato inserito nel modello di simulazione idrodinamica bidimensionale l'ingombro in alveo dettato dallo stesso.

È previsto in progetto l'intervento di ampliamento della luce complessiva del ponte tramite l'apertura della quarta campata in destra idraulica, di luce pari a 15 m realizzando una terza pila laddove ora è presente la spalla destra.

Tale condizione geometrica è stata ulteriormente inserita nel modello bidimensionale al fine di verificare il deflusso di piena duecentennale nelle condizioni di progetto, e dunque caratterizzate dall'innalzamento della sommità arginale a monte dell'area industriale e l'apertura in destra della quarta campata del ponte di Bornate.

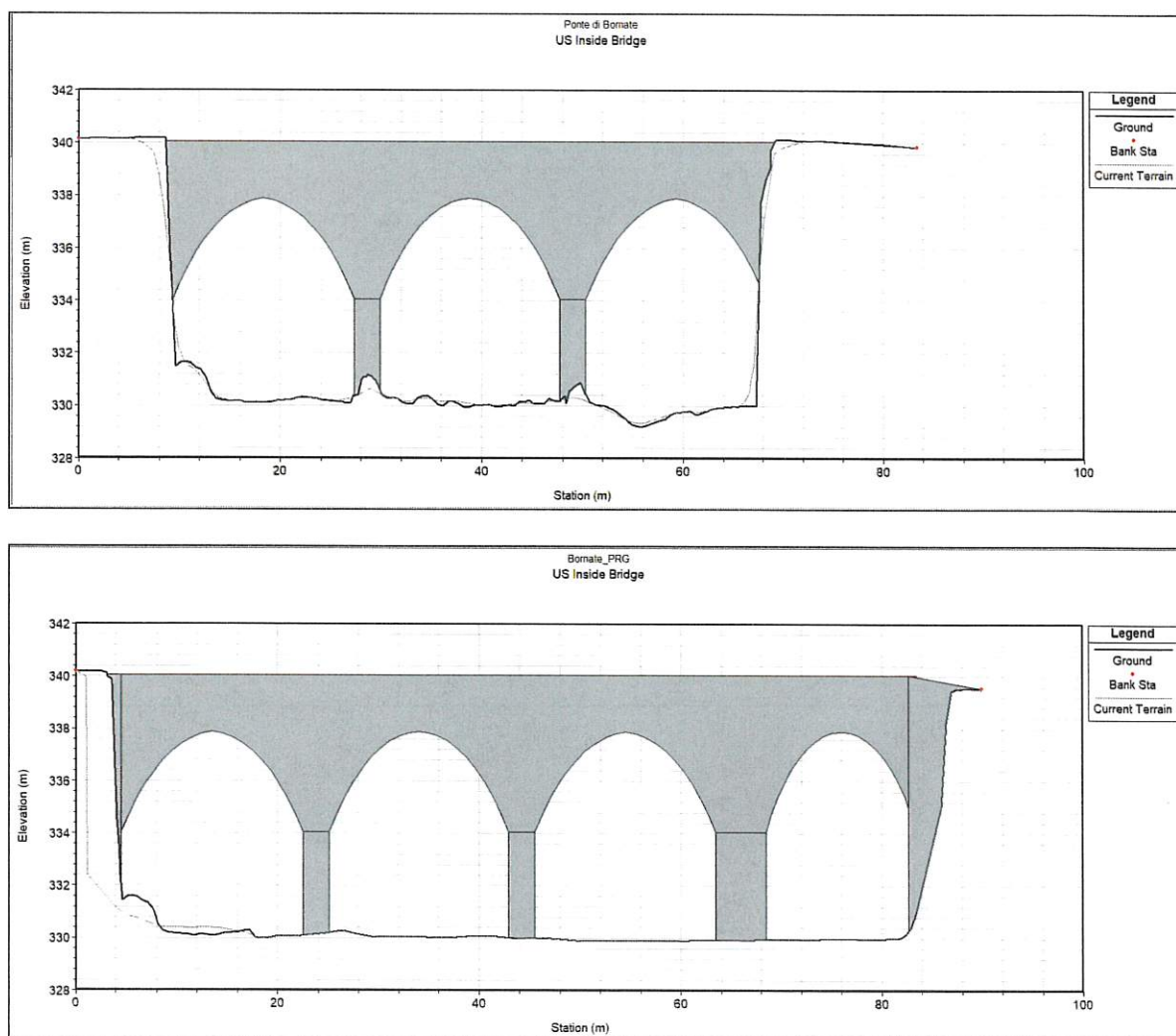


Figura 25 - Ponte di Bornate a Borgosesia (VC) nelle condizioni di stati di fatto e di PROGETTO.



7.3.5 Condizioni al contorno

Le condizioni di deflusso del Torrente Sessera **in ambito 1D** sono state simulate con riferimento a sei valori di portata al colmo di piena attribuite a sei sezioni caratteristiche, al fine di considerare il progressivo contributo in termini di area scolante del bacino. Tali valori di portata al colmo sono stati imposti come condizioni al contorno di monte e sono stati calcolati per tre differenti tempi di ritorno: TR 20, 100 e 200. In particolare, le portate assunte sono così sintetizzate (cfr. Tabella 4):

Tabella 4 - Portate di calcolo in m³/s assunte come condizioni al contorno di monte

Progressiva sezione [m]	TR 20	TR 100	TR 200
13+595	616	862	936
11+491	667	933	1013
10+408	688	963	1046
7+939	822	1152	1252
3+883	1096	1543	1679
2+785	1136	1600	1742

Le simulazioni hanno fatto riferimento a condizioni di moto permanente e dunque, come noto dal calcolo numerico, per ciascuno scenario (e per ciascun tempo di ritorno) è necessario definire una sola condizione al contorno, salvo il caso in cui si verificano dei cambiamenti di regime (da corrente veloce a lenta), nel qual caso è necessario imporre un'ulteriore condizione relativa all'ultima sezione di valle.

Poiché quasi mai è possibile stabilire a priori il regime con cui si svolge il moto, soprattutto in corsi d'acqua naturali, dove per la estrema irregolarità della geometria si possono verificare cambiamenti di regime, è opportuno assegnare entrambe le condizioni al contorno, a monte e a valle, e verificare a posteriori se la condizione assegnata ha avuto o meno influenza sul profilo della corrente. All'estremo di monte dell'area in analisi è stata assegnata la condizione al contorno relativa alla pendenza, calcolata tra la sezione stessa e quella immediatamente a monte o immediatamente a valle. La pendenza del fondo inserita come condizione al contorno di monte risulta pari a **1%**.

Come condizione al contorno di valle sono stati imposti i livelli di piena del fiume Sesia al variare del tempo di ritorno della simulazione eseguita e riassunti nella seguente tabella riepilogativa, evidenziando che gli effetti di rigurgito dettati dalla piena del f. Sesia si risentono esclusivamente a valle del ponte della Baraggia.

Tabella 5 – Condizione al contorno di valle associata alle simulazioni numeriche

Portata di riferimento	Livello idrico di valle associato (m slm)
QTr200	329.55
QTr100	328.98
QTr20	328.98



Le condizioni di deflusso del Torrente Sessera in **ambito 2D** sono state simulate imponendo come condizione al contorno di monte gli idrogrammi di piena riportati al §4 e relativo alla portata di Tr 200 anni (per comodità di seguito riportato in Figura 26).

Per quanto concerne la condizione al contorno di valle, invece, sono stati imposti i livelli idrici in quota assoluta relativi alla sezione di monte del ponte canale pari a 330,96 m s.l.m. (per Tr200 anni).

Il suddetto valore è frutto dell'analisi idrologica e idraulica di dettaglio effettuata tramite modellazione 1D.

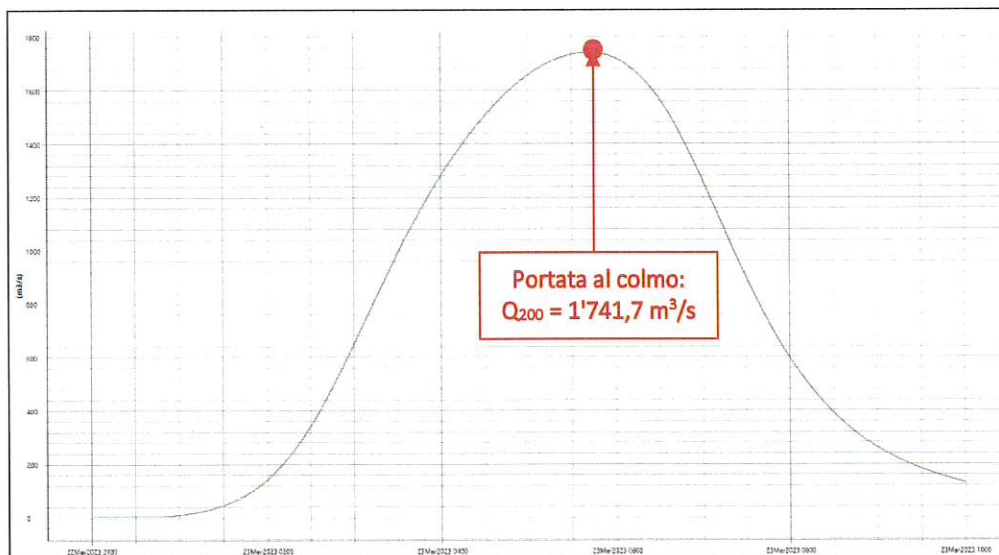


Figura 26 - Idrogrammi di piena assunti come condizioni al contorno di monte per la simulazione idraulica.

7.3.6 Scenari simulati

Gli scenari simulati con la modellazione monodimensionale (1D) sono stati i seguenti:

- **STATO DI FATTO:** configurazione rappresentativa delle condizioni di deflusso attuali (2022), definite sulla base dei rilievi topografici a terra, dei rilievi condotti con il drone e del DTM fornito dal Ministero dell'Ambiente. È stata inoltre allestita una simulazione numerica sulla base delle quote idrometriche raggiunte dalla piena nel corso dell'evento del 2-3 ottobre 2020 (e successivamente rilevate dagli Scriventi) finalizzata alla stima delle portate di piena defluite durante il suddetto evento meteorico eccezionale, evidenziando come la piena dell'ottobre 2020 sia stata rappresentativo di un evento di tempo di ritorno di poco inferiore a una piena di Tr 20 anni.
- **STATO DI PROGETTO LOTTO 1:** configurazione geometrica rappresentativa degli interventi di cui al presente Lotto 1. I risultati numerici di tale simulazione sono riportati in dettaglio negli allegati al presente elaborato, oltre che illustrati ai paragrafi seguenti.

La simulazione di STATO DI FATTO ha permesso agli Scriventi di analizzare il quadro complessivo delle criticità idrauliche lungo l'intero tratto fluviale in analisi, le quali vengono descritte nel dettaglio al capitolo seguente.



REGIONE PIEMONTE – Provincia di Biella
Comune di Pray

*Intervento di rifunionalizzazione dell'asta del torrente Sessera dalla
confluenza con il fiume Sesia alla frazione Zuccaro*

Progetto Definitivo – LOTTO 1



La simulazione allo STATO DI ROGETTO – LOTTO 1 prevede l'inserimento degli interventi locali finalizzati alla riduzione del rischio idraulico, alla sistemazione idraulica dell'alveo, alla mitigazione e protezione dall'erosione spondale e alla stabilizzazione della divagazione planimetrica dell'alveo inciso e di piena previsti e possibili anche in base alla copertura finanziaria disponibile oggi.



8. RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Si riportano ai paragrafi successivi i principali risultati delle simulazioni numeriche allestite in riferimento alle dinamiche di esondazione del t. Sessera per i vari tempi di ritorno in riferimento alla configurazione attuale (*STATO DI FATTO*). Le criticità evidenziate dalla simulazione dello stato di fatto hanno consentito dapprima l'individuazione preliminare degli interventi necessari per la loro risoluzione lungo tutta l'asta (scenario dettagliato nel PFTE) e, in ragione delle priorità individuate, di progettare gli interventi coperti da finanziamento di cui al presente Lotto 1 inseriti nella modellazione numerica nella configurazione di progetto (*PROGETTO*).

I risultati del modello di simulazione sono riassunti per area oggetto di simulazione, procedendo da valle verso monte e lungo tutto il tratto di asta oggetto di intervento (13,6 km).

Il presente progetto del LOTTO 1 definisce pertanto le opere idrauliche ritenute prioritarie per la riduzione del rischio e dotate di copertura finanziaria. Si rimanda agli allegati al presente elaborato per un maggior dettaglio ed approfondimento di tutti i risultati numerici descritti e delle aree di esondazione nella configurazione attuale e di progetto relativa agli interventi di LOTTO 1 per i tempi di ritorno di 20, 100 e 200 anni.

8.1 TRATTO A TRA LE PROG. 0+000 A 1+155 - PONTE DI BORNATE IN COMUNE DI BORGOSIA

Circa 500 m a monte della confluenza in Sesia, il Sessera è attraversato dall'impalcato di un ponte canale della Baraggia, opera idraulica a sei campate che consente il deflusso delle portate di piena con rispetto del franco idraulico. La simulazione idraulica dello stato di fatto per eventi di piena parossistici evidenzia l'alluvionamento di un'ampia area in sinistra idrografica a monte del ponte canale, interessando marginalmente l'area di cava ivi presente (attualmente sfruttata solo parzialmente) e con tiranti e velocità piuttosto contenuti.



Figura 27 – Vista da valle del ponte canale presente poche centinaia di metri a monte della confluenza Sessera – Sesia e battuta di sponda in destra idraulica circa 150 m a monte dell'impalcato



Il Sessera, circa 150 m a monte dell'impalcato del ponte canale, va in battuta in destra ove sono presenti alcune difese in massi ciclopici che mostrano segni di sottoescavazione.

Il **ponte di Bornate** è un ponte ad elevata percorrenza che attraversa il Sessera poco a monte della confluenza con il Sesia. L'opera è caratterizzata da 3 campate ad arco, ciascuna di luce pari a 18 m con due pile in alveo di forma prismatica poggianti su una soglia in roccia costituente il substrato affiorante in corrispondenza del fondo alveo. La spalla sinistra è realizzata a ridosso del versante, mentre la spalla destra del ponte è realizzata in prosecuzione di un rilevato in terra in intrusione all'alveo inciso del Sessera.

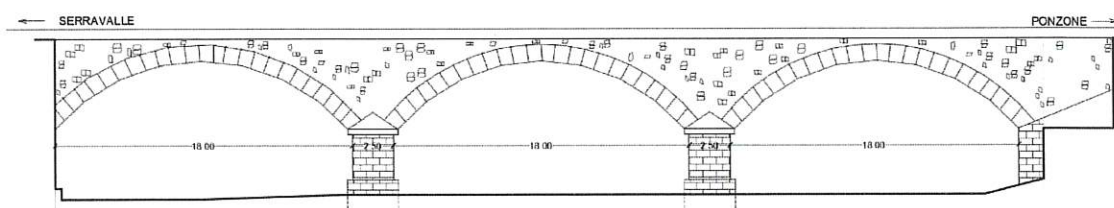


Figura 28 – Sezione del ponte di Bornate in Comune di Borgosesia vista da valle

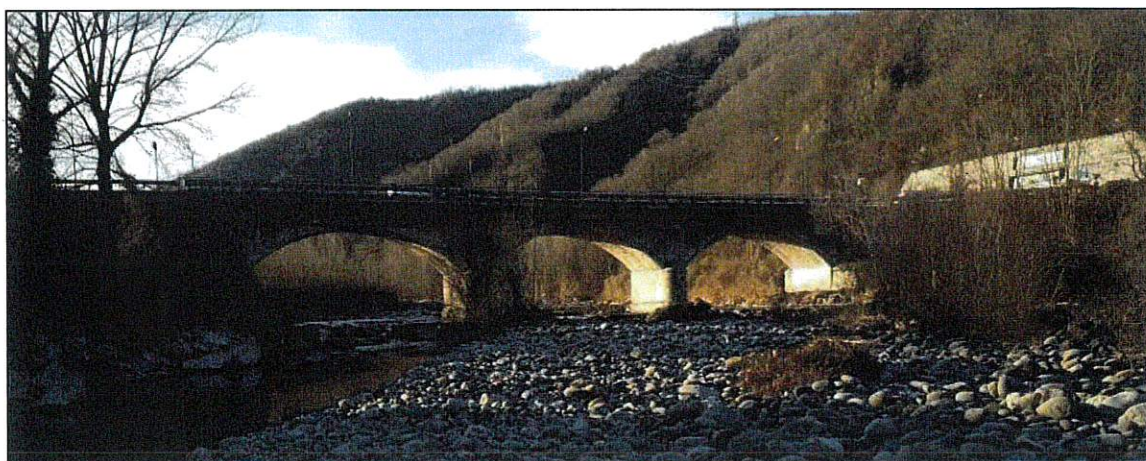


Figura 29 – Ponte di Bornate in Comune di Borgosesia visto da valle.

Dal punto di vista idraulico, il ponte è sostenuto a valle da una soglia in roccia, mentre a monte dell'impalcato il fondo alveo è regolarizzato da una seconda soglia ospitante una condotta fognaria del Co.R.D.A.R.

Il modello idrodinamico numerico allestito dagli Scriventi evidenzia come il ponte di Borgosesia, per una portata rappresentativa di un evento di Tempo di ritorno di 200 anni, vada in pressione, determinando il sormonto dell'impalcato e l'esondazione di tutta l'area industriale presente a monte in destra idraulica (cfr Figura 30). Ciò determina il parziale allagamento anche delle strutture commerciali presenti a valle, interessate dal sormonto dell'infrastruttura e dall'allagamento per deflusso lungo la sede stradale, che è in pendenza proprio verso la sponda destra e i centri commerciali, sebbene tale evidenza emerga in maniera più dettagliata dalle simulazioni 2D descritte al §8.3.



L'evento di piena dell'ottobre 2020 ha determinato il crollo di una porzione di scogliera in destra appena a valle del ponte, con un livello idrico rilevato dagli Scriventi in sinistra appena a monte ponte misurato a 334,83 m s.l.m.

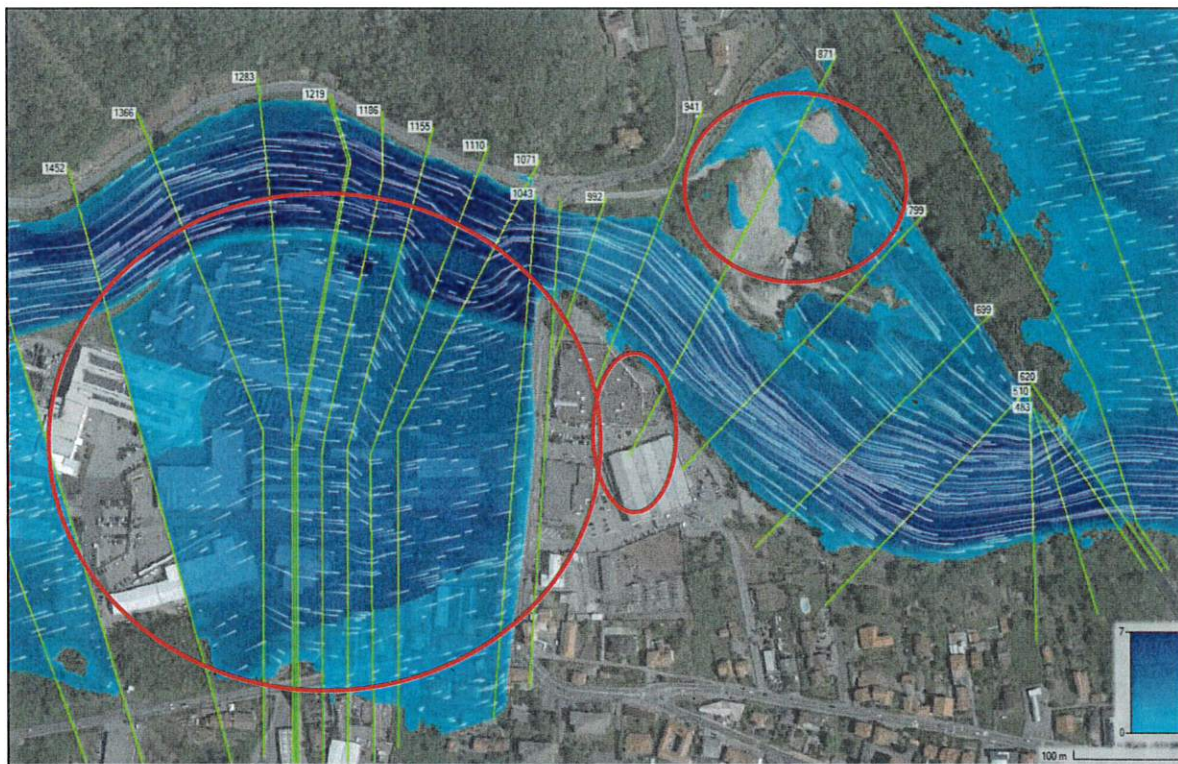


Figura 30 – STATO DI FATTO Tr 200 anni. Esondazione in corrispondenza del ponte di Bornate per effetto del rigurgito dettato dall'impalcato del ponte per un evento di Tr 200 anni. Risultati del modello 1D.

La configurazione di PROGETTO prevede i seguenti interventi di carattere idraulico, per il dettaglio del quale si rimanda alla *Relazione tecnica illustrativa* di Elab. D-1.1 ed agli elaborati grafici.

- ✓ **Interventi A1/A3:** intervento principale in loc. Torame, dove si prevede l'ampliamento del Ponte tramite l'apertura della IV° campata in destra idraulica con sistemazione della soglia di stabilizzazione del fondo presente a valle;
- ✓ **Intervento A2:** intervento di riprofilatura dell'alveo a monte del ponte con formazione di un nuovo ramo in alveo in destra idrografica e ampliamento della sezione d'alveo a ridosso dell'impalcato per favorire il deflusso in approccio alla quarta campata del ponte;
- ✓ **Intervento A4:** Realizzazione di nuova scogliera a monte del ponte in destra idrografica e realizzazione di scogliera e di muretto in testa a valle dell'impalcato a protezione dell'ampliamento della sponda.

Le opere relative all'intervento A sono tutte ricomprese nell'ambito degli interventi progettuali del Lotto 1 e permettono una sostanziale riduzione del rischio idraulico relativo all'area intervento A per quanto concerne il ponte di Bornate (Figura 31 e Figura 32). Tali interventi non sono esaustivi nei confronti delle criticità



evidenziate precedentemente (Figura 30) in quanto sussiste la battuta della corrente in piena sulle scogliere a monte del ponte canale della Baraggia (parzialmente ammalorate allo stato di fatto) per le quali si potrà prevederne la sottofondazione per un'estensione indicativa di circa 80 m, intervento escluso dal presente LOTTO 1.

I risultati del modello numerico nella configurazione di *PROGETTO* sono rappresentati nelle figure seguenti.

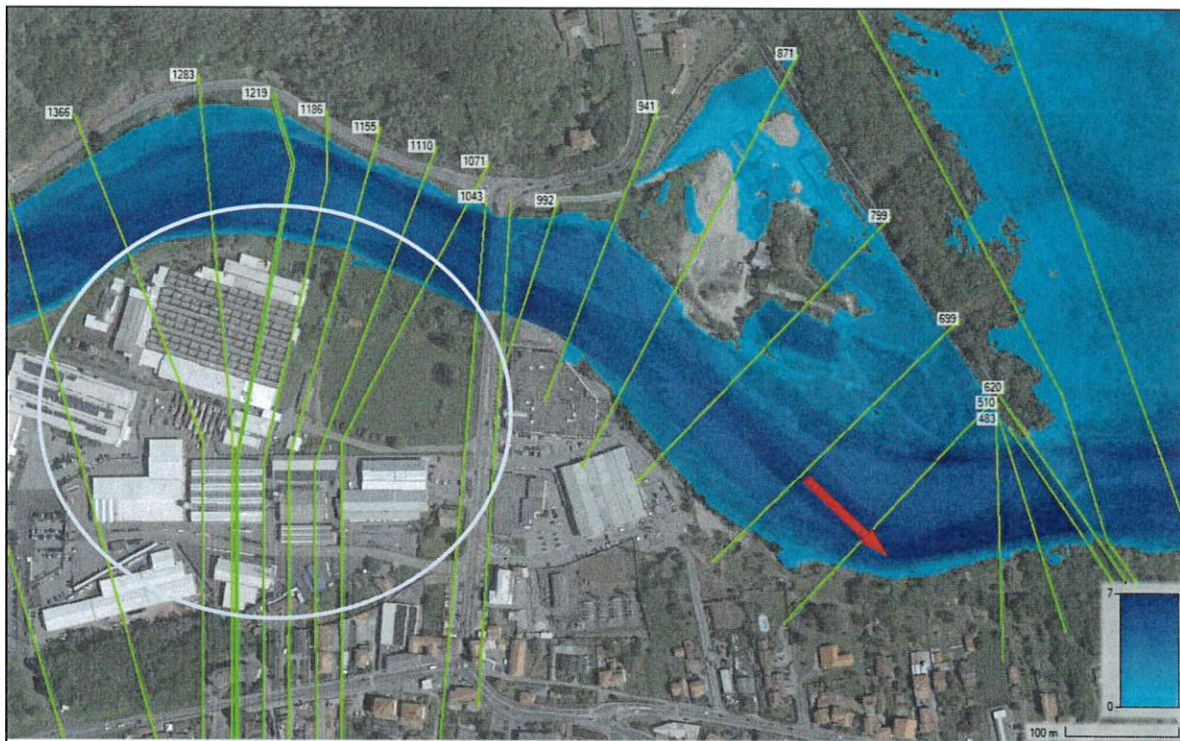


Figura 31 – Stato di PROGETTO Tr 200 anni. Esondazione in corrispondenza del ponte di Bornate. Con la freccia rossa è indicata la battuta sulle scogliere in destra a monte del ponte canale della Baraggia

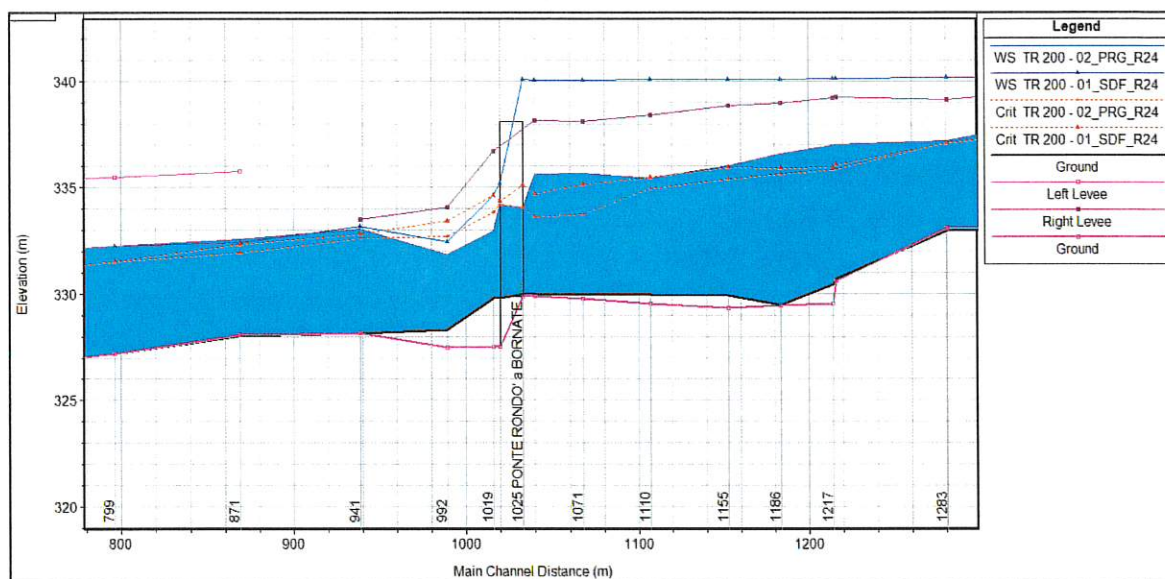


Figura 32 – Confronto STATO DI FATTO e di PROGETTO modello 1D. In evidenza la riduzione dei livelli idrici a monte del ponte di Bornate per effetto dell'apertura della quarta campata ad ampliamento del ponte.

Le immagini di Figura 31 e Figura 32 evidenziano come l'apertura della quarta campata in destra e l'allargamento della sezione d'alveo consentano una sensibile riduzione dei livelli idrici a monte dell'impalcato, garantendo il deflusso della piena bicentenaria senza che si manifestino fenomeni di esondazione a monte.

Il livello idrico immediatamente a monte del ponte è individuato alla quota di 335,60 m s.l.m., livello che riferito alla quota dell'intradosso dell'impalcato del ponte (337,90 m s.l.m.), determina il mantenimento di un franco idraulico superiore a 2.0 m rispetto alla chiave di volta con mantenimento di una luce di deflusso maggiore di 2/3 della larghezza dell'arco alle reni al passaggio di una portata di Tr200 anni e pertanto risulta verificato nei confronti del franco idraulico richiesto dalle vigenti normative (NTC 2018).

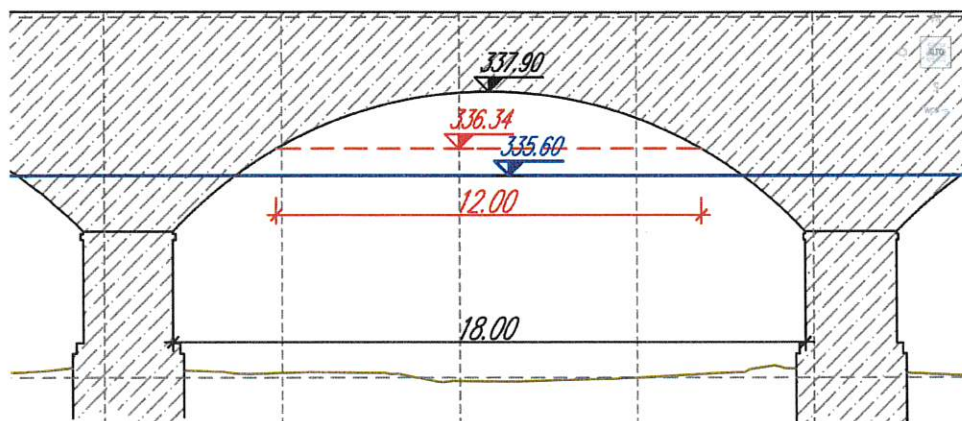


Figura 33 - Rappresentazione del livello idrico in condizioni di piena calcolato nella sezione a monte del ponte al deflusso di una portata di Tr 200 anni nella configurazione di PROGETTO (4° campata del ponte).



Gli scriventi hanno eseguito la simulazione relativa all'apertura della quarta campata con medesima forma delle esistenti (arco) e quota della chiave di volta e con luce pari a 15 m, come rappresentato nell'immagine seguente:

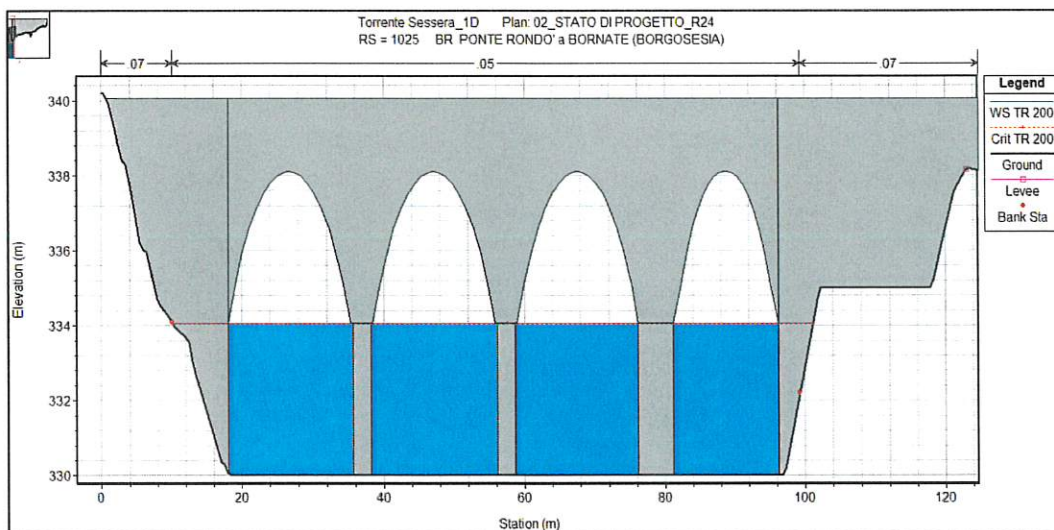


Figura 34 – Ponte di Bornate nello STATO DI PROGETTO inserito nel modello di calcolo idrodinamico

8.2 TRATTO B TRA LE PROG. 1+450 A 2+200 A MONTE DEL PONTE DI BORNATE

Il tratto d'alveo a valle della traversa funzionale all'impianto idroelettrico realizzato in destra idrografica, in corrispondenza della Guardella, e sino al ponte di Bornate, ha subito una forte variazione a seguito dell'evento di piena del 2020. Come si può notare dal confronto delle Ortofoto satellitari riportate in Figura 35 l'alveo era caratterizzato da barre laterali di deposito di materiale lapideo in parte vegetate.





Figura 35 – Immagini satellitari dell'alveo all'altezza della Guardella nel 2020 pre-alluvione (sopra) e 2021

A colpo d'occhio si può notare come la maggior parte della vegetazione arborea sia stata asportata e trasportata dalla corrente a valle a seguito del passaggio della piena, la quale ha determinato una variazione planimetrica del thalweg spostandosi di fatto dall'opposto lato della sezione ed un allargamento dell'alveo inciso.

Tra le sezioni d'alveo poste alle progressive 2+025 e 1+956 era presente una rampa naturale in massi e roccia affiorante che determinava un locale incremento delle velocità della corrente e la battuta in destra idraulica in corrispondenza delle difese arginali in scogliera, producendo inoltre un'incisione locale del fondo alveo ed una sensibile riduzione della larghezza dell'alveo inciso.

Il deflusso della piena del 2020 ha determinato una variazione altimetrica importante "livellando" il fondo alveo nel tratto in analisi, con erosione della rampa in massi naturali ($H_{\text{scavo}} \approx 1\text{m}$) e deposito nelle sezioni di valle (cfr. Figura 36). Il livello idrico dell'evento del 2020 rilevato dagli Scriventi è approssimativamente alla quota di 341,68 m s.l.m. alla XS (progressiva) 2+025.

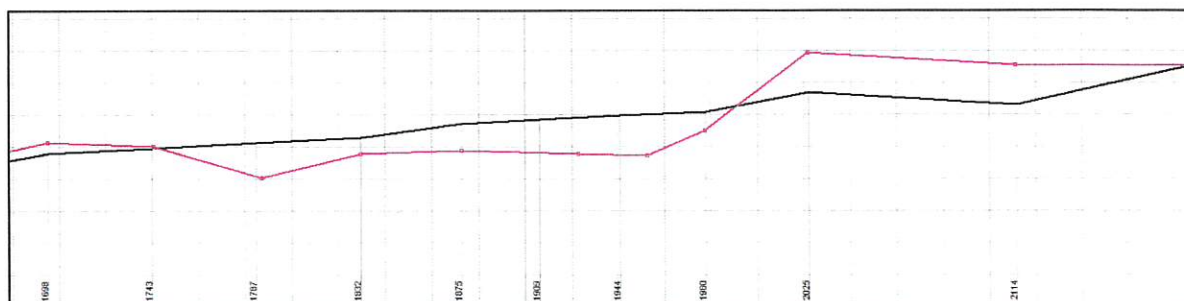


Figura 36 – Variazione altimetrica del fondo pre-alluvione (2019 linea magenta) e STATO DI FATTO (2021)

La sponda sinistra, a valle della traversa di cui sopra, è protetta da un argine in terra che si estende indicativamente sino alla progressiva 2+100, degradando in elevazione sino alla progressiva 2+000, mentre il tratto posto più a valle e sino alla progressiva 1+800 circa non presenta protezione spondale dalle dinamiche di esondazione del



corso d'acqua. La sponda destra, a partire dalla progressiva 1+950 circa, è protetta da una scogliera in massi ciclopici, sormontata da un argine in terra che costituisce la protezione dalle dinamiche di esondazione nei confronti dei numerosi stabilimenti presenti nell'area. La scogliera presenta in lunghi tratti condizioni di ammaloramento o sottoescavazione al piede.

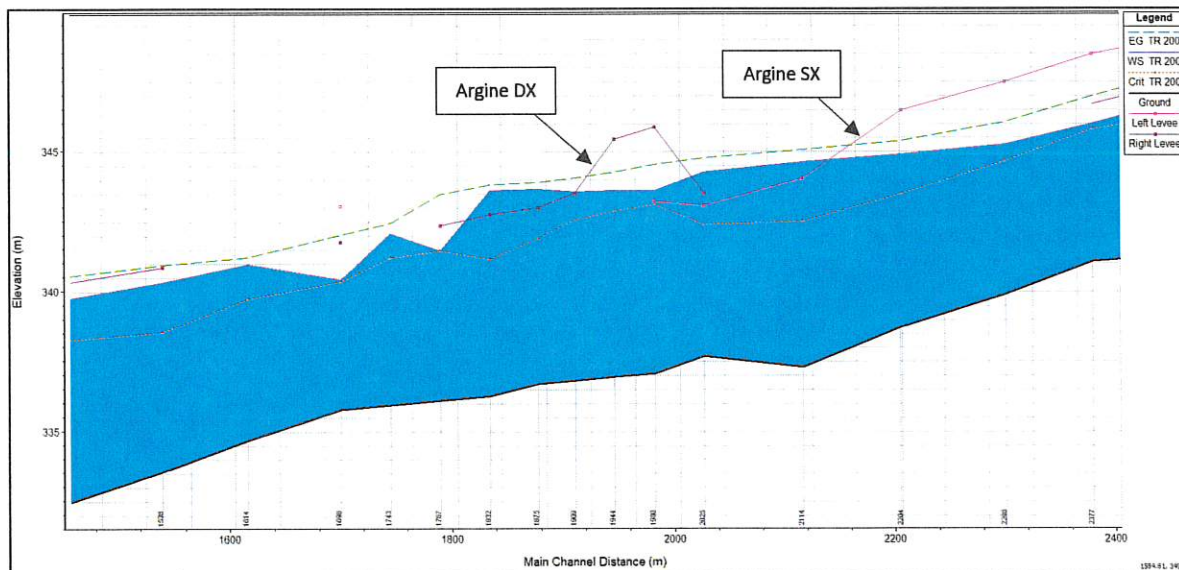


Figura 37 - Profilo di fondo alveo tra le progressive 2+025 e 1+452 e livelli idrici in condizioni di piena per una TR 200 anni (linea continua blu), confrontati con la quota arginale in destra idraulica (linea puntinata granata).

La modellazione della dinamica fluviale rappresentativa dello **STATO DI FATTO** evidenzia come si abbia esondazione per la Tr 200 anni in sinistra idraulica (la cui quota di testa argine è rappresentata dalla linea magenta in Figura 37), interessando in maniera marginale alcuni caseggiati, mentre in maniera leggermente più significativa un'area di stoccaggio materiale e la S.P. 72, non protetti da arginature, indicativamente dalle progressive 2+200 alla 1+800.

In destra idrografica (quota di sponda linea granata in Figura 37) si ha un incremento dei livelli idrici che provoca il sormonto della prima fila di arginature a partire dalla 1+950 circa e l'alluvionamento dello stabilimento posto a monte del lanificio Colombo (società PGS) per il superamento dell'argine esistente nel punto in cui questo curva intestandosi lungo la sponda destra (Figura 39).



Figura 38 – Rampa naturale in ciottoli e massi e tendenza dell'alveo alla battuta in destra in corrispondenza della progressiva 1+980 – vista da monte (sopra, pre-alluvione 2019) e “livellamento” del fondo alveo con divagazione planimetrica del talweg verso sinistra nella situazione post-alluvione (2022).

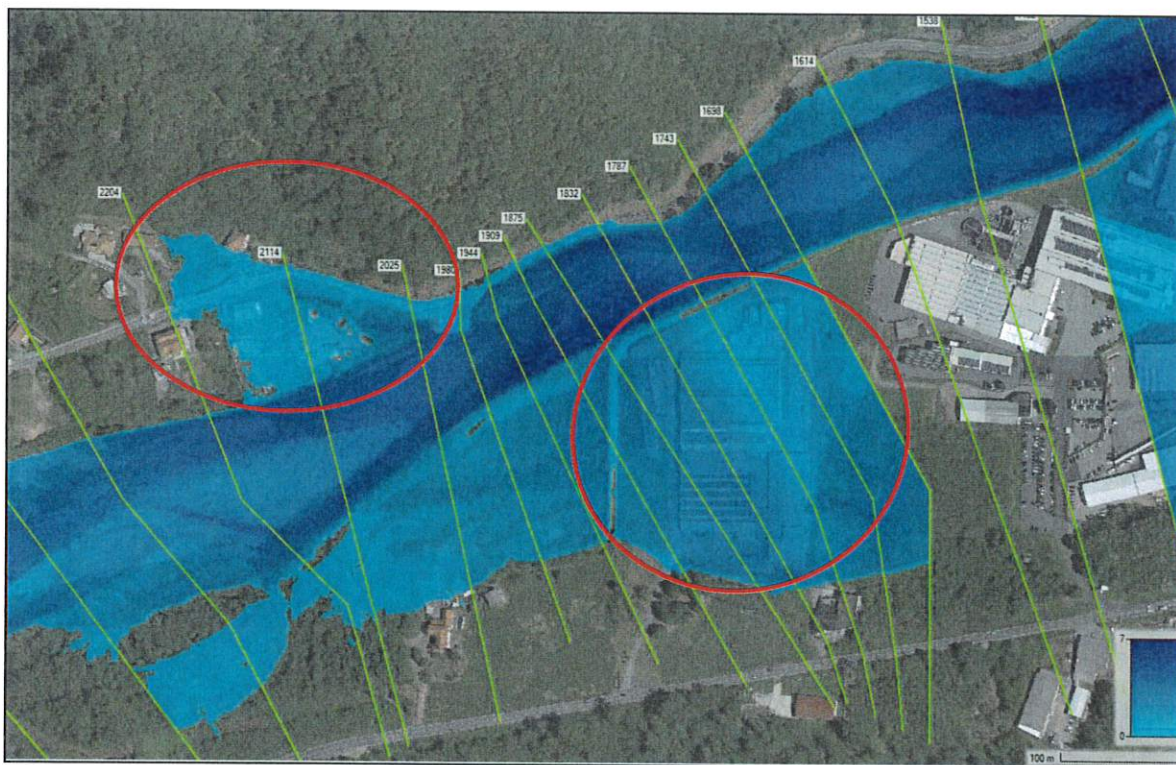


Figura 39 – STATO DI FATTO Tr 200 anni. Dinamica di esondazione in sinistra e destra idraulica tra le progressive 2+025 e 1+698 con evidenza dell'alluvionamento di alcune abitazioni in sinistra e del fabbricato a monte del lanificio Colombo.

La configurazione di **PROGETTO** è stata allestita considerando i seguenti interventi per il contenimento dei livelli idrici e la protezione delle abitazioni e manifatture presenti in sinistra e destra idrografica:

- ✓ **Intervento B1:** ripristino ed estensione delle scogliere in sinistra e nuovo rilevato arginale in terra in sponda sinistra a parziale protezione di alcune abitazioni;
- ✓ **Intervento B2:** intervento di innalzamento dell'argine esistente in destra a difesa degli edifici industriali;
- ✓ **Intervento B3:** Intervento di difesa del paramento dell'argine lato alveo, in destra, tramite sistemazione di alcuni tratti della scogliera esistente e realizzazione di nuovi tratti di scogliera laddove l'esistente risulta eccessivamente ammalorata;
- ✓ **Intervento B4:** innalzamento di muro d'argine a protezione dell'edificio posto a ridosso dell'alveo inciso in sponda sinistra e del piazzale di deposito materiali, quest'ultimo interessato dall'innalzamento dei livelli idrici nell'impluvio secondario limitrofo.

I risultati del modello numerico nella configurazione di progetto sono rappresentati nelle figure seguenti, che ben evidenziano come l'implementazione degli interventi previsti all'interno del modello di simulazione idraulica portino numericamente alla risoluzione delle criticità descritte.



Tali interventi rientrano nell'ambito del presente progetto LOTTO 1, sebbene l'int. B1 non sia in grado di contenere eventuali portate di rientro da valle (anche per effetto della presenza di un impluvio secondario e della strada a quote relativamente contenute); in tale configurazione viene interessato dalle dinamiche di piena un fabbricato posto maggiormente a ridosso della sponda. Suddetto fabbricato pare utilizzato esclusivamente per ricovero mezzi e magazzino.

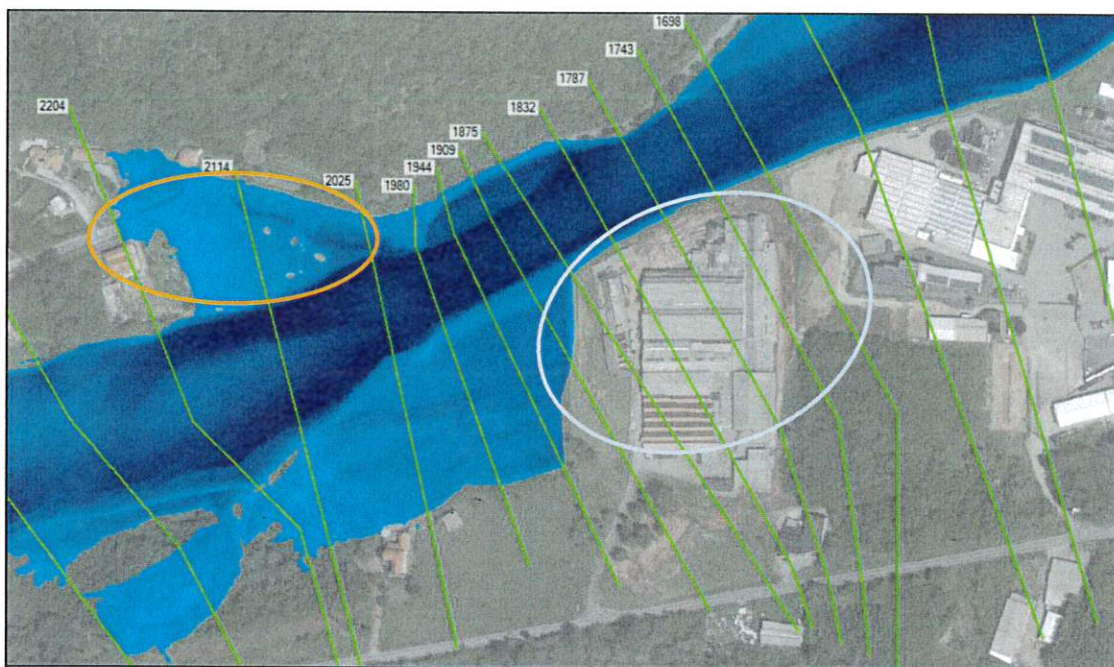


Figura 40 – Stato di PROGETTO. Beneficio al contenimento dei livelli idrici all'interno delle nuove arginature individuate a protezione degli edifici in sinistra idrografica e all'interno dell'argine esistente, in destra.

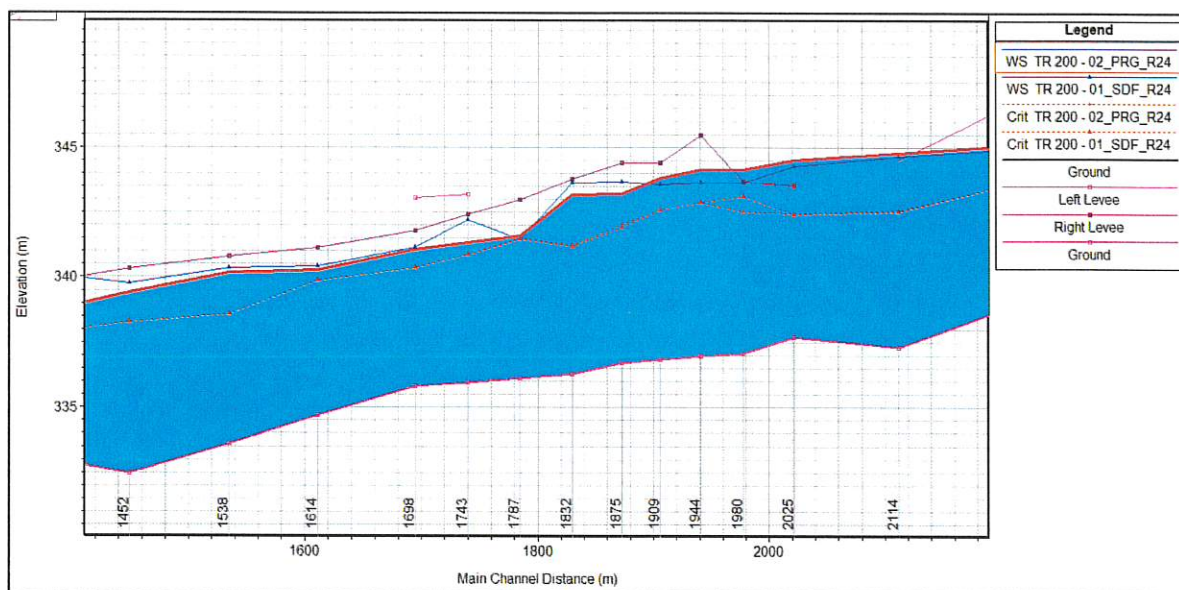


Figura 41 – Effetti dell'innalzamento arginale in sinistra ed in destra idraulica a contenimento dei livelli di piena

8.3 MODELLO 2D DEL TRATTO A E B TRA LE PROG. 0+000 A 2+200

I tratti A e B descritti nei paragrafi precedenti sono stati oggetto di approfondimento tramite l'allestimento del modello bi-dimensionale sull'area che va dalla traversa di derivazione alla Guardella sino al ponte canale a valle del Ponte di Bornate.

La simulazione in moto bidimensionale è stata condotta al fine di dettagliare le modalità e le superfici oggetto di esondazione, consentendo inoltre di verificare come anche le aree poste in destra idrografica a valle del ponte siano soggette alle dinamiche di alluvionamento, scenario non mostrato accuratamente nelle analisi in moto mono-dimensionale nonostante effettivamente previsto dagli Scriventi.

Si riportano nel seguito i principali risultati relativi alla dinamica di deflusso del T. Sessera per la portata di TR 200 allo STATO DI FATTO, i quali mostrano come l'area in loc. Torame venga invasa dalle acque di esondazione con interessamento della maggior parte degli stabilimenti produttivi e commerciali posti sia a monte sia a valle del ponte di Bornate, come riportato nella carta dei battenti massimi in Figura 42.



Figura 42 – Carta dei battenti idraulici massimi al colmo di piena per Tr 200 anni – loc. Torame.

Tale risultato conferma in larga misura i risultati ottenuti tramite la simulazione 1D (cfr. §8.1 e §8.2) dettagliando tuttavia in maniera molto più precisa la genesi e l'evoluzione delle dinamiche di esondazione nell'area industriale.

La sostanziale differenza computazionale tra le due simulazioni (1D e 2D) è dettata dal fatto che la modalità di calcolo in ambiente monodimensionale, ed in moto permanente, va ad individuare un livello unico di piena per ciascuna sezione calcolato per la portata di picco, non tenendo in alcun modo in conto del volume dell'onda di piena ed in particolare del volume idraulico sfiorato sopra le arginature. In altre parole, il modello 1D non valuta il fatto che nel momento in cui il livello idrico raggiunge la quota di testa argine, solo una quota parte della portata in arrivo oltrepassa l'opera, in ragione del battente instauratosi sulla stessa e della sua estensione.

Dunque, l'onda di piena che oltrepassa l'argine di fatto defluisce in maniera disgiunta dalla portata interessante l'alveo inciso, con livelli idrici in quota assoluta inferiori e battenti e velocità che sono funzione della morfologia e delle pendenze dell'area golenale stessa.

Se si vanno ad analizzare gli step temporali precedenti al colmo di piena, si può apprezzare la genesi e l'evoluzione della dinamica di esondazione nell'area Torame, la quale è causata da due differenti fenomeni.

In primo luogo si osserva da valle il **rigurgito dettato dall'ingombro del ponte di Bornate** che determina, per portate crescenti (oltre i 1600 m³/s), esondazione in destra tramite il sormonto dell'arginatura esistente ed interessamento progressivo di alcuni degli stabilimenti produttivi e commerciali siti nell'area di interesse, sia a monte che a valle del ponte.

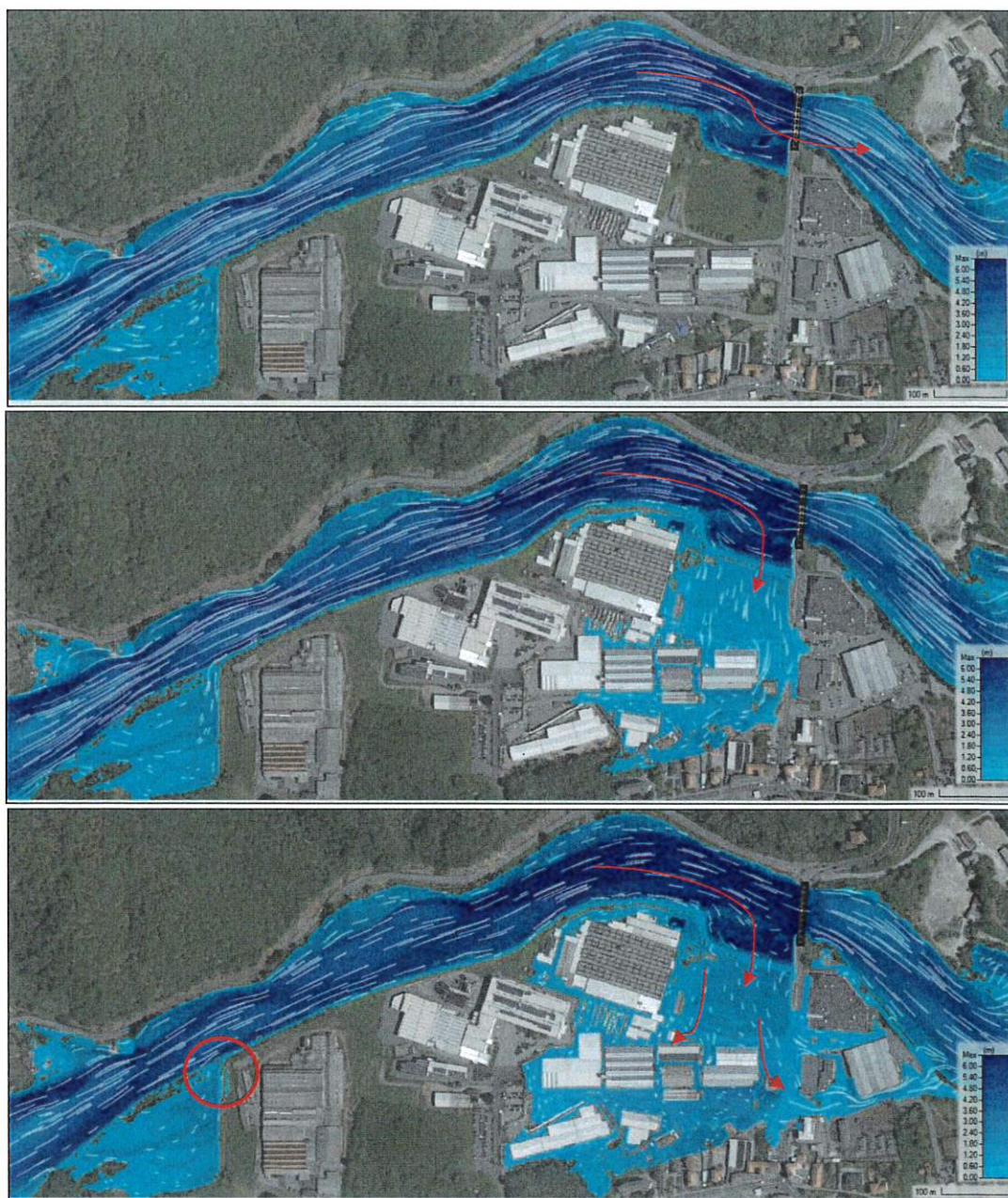


Figura 43 – Rigurgito del ponte Bornate e progressiva esondazione della porzione di valle dell'area industriale per portate crescenti prima del raggiungimento del colmo di piena, e inizio del sormonto dell'argine a monte.

Infatti si nota come progressivamente il sormonto dell'argine in destra a ridosso del ponte determini un deflusso delle acque di esondazione tale da progredire verso monte sino ad interessare gli stabilimenti siti a valle del Lanificio Colombo, arrestandosi al margine di valle dello stesso, e progredendo verso valle dove le pendenze riconducono le acque in alveo coinvolgendo gli stabilimenti commerciali siti in destra appena a valle del ponte, localmente con forti velocità di deflusso ($v_{media} > 8-10$ m/s) in corrispondenza delle rampe cementate.



Come si può notare dall'immagine riportata in Figura 43 in basso, al medesimo istante temporale si comincia a manifestare la **seconda criticità, costituita dal** sormonto dell'arginatura posta circa 800 m a monte del ponte di Bornate e a difesa degli stabilimenti PGS e del Lanificio Colombo, in particolare dal punto in cui l'argine stesso svolta in direzione N-S (come evidenziato nelle simulazioni 1D e rappresentato in Figura 39).

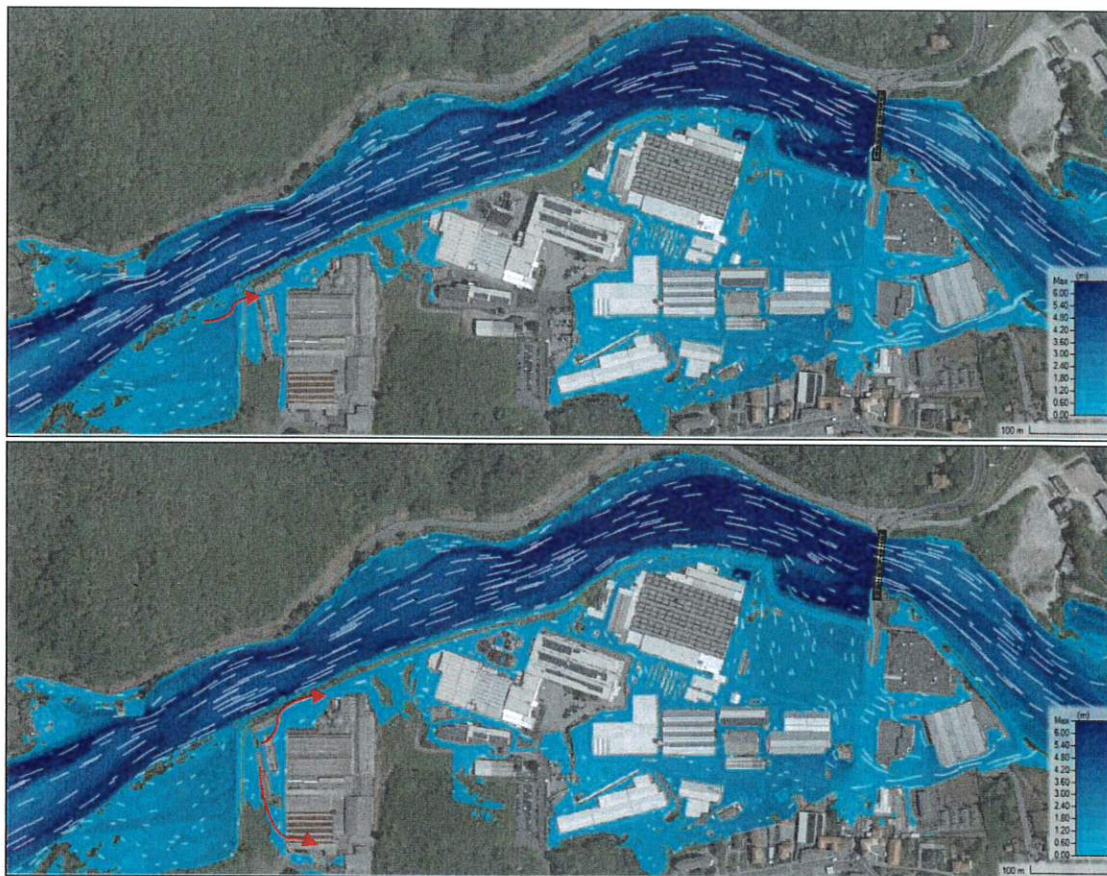


Figura 44 – Ulteriore esondazione dettata dal sormonto dell'arginatura a valle e a monte dell'area industriale

All'evolversi dell'idrogramma di piena verso il picco di portata, da tale punto di esondazione si instaura un deflusso idrico che coinvolge dapprima lo stabilimento Pizzi (PGS) e progressivamente va ad invadere in modo parziale le aree di proprietà del Lanificio Colombo sito appena più a valle (Figura 44), sino a che suddette portate defluiscono interessando le aree già sommerse a valle per via del rigurgito dettato dal ponte di Bornate, determinando l'estensione massima dell'esondazione (Figura 45) in concomitanza all'arrivo del colmo di piena.