

Ing. GIORGIO CASTELVEDERE
Ing. LAURA AMADIO
Ing. FEDERICO ZUCCHI
Ing. GUIDO ROMANO
Ing. GIANLUCA PERTICA
Geom. FABRIZIO BARUFFI
Geom. SABINA ZANOTTI
Arch. GLENDA SAVOLDI

Via Leno, 9/c – 25021 Bagnolo Mella (BS)
Telefono: 030 621980 – Fax: 030 6824703
E-mail: studio@castelvedere.com
<http://www.castelvedere.com>

COMMITTENTE: *Noranda s.p.a.*

OGGETTO: *Nuovo complesso residenziale*
 Via Gardesana
 25086 – Rezzato (BS)

RELAZIONE DI

COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Revisione n. 1

Aggiornamento indicazioni progettuali

12.02.2026

SOMMARIO

1.	PREMESSA	3
2.	INQUADRAMENTO	3
2.1.	INQUADRAMENTO GENERALE	3
2.2.	INQUADRAMENTO PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO	5
2.3.	INQUADRAMENTO IDRAULICO	9
3.	ULTERIORI ELEMENTI DI INQUADRAMENTO	16
3.1.	PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO	16
3.2.	RETICOLO IDRICO	17
4.	PARAMETRI PLUVIOMETRICI	18
5.	EVENTO METEORICO DI PROGETTO	20
6.	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	21
6.1.	PREMESSA	21
6.2.	DETERMINAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	22
6.3.	RIO RUDONE	26
6.4.	NAVIGLIO GRANDE BRESCIANO	28
7.	MODELLO DELL'AREA OGGETTO DI VERIFICA	32
7.1.	PREMESSE	32
7.2.	MODELLO IDRAULICO	34
8.	VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA	40
8.1.	PREMESSA	40
8.2.	CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA	40
8.3.	VERIFICA DELLE SEZIONI	41
8.4.	CALCOLO DEL LIMITE DELLE AREE INONDABILI	46
8.5.	CALCOLO DELL'ALTEZZA DELLE ACQUE DI PIENA	48
8.6.	CALCOLO DELLA VELOCITÀ DELLE ACQUE DI PIENA	51
8.7.	CALCOLO DEL PRODOTTO ALTEZZA x VELOCITÀ	56
9.	CONCLUSIONI	59

1. PREMESSA

La presente relazione ha lo scopo di illustrare le valutazioni condotte in merito alle verifiche di compatibilità idraulica per la realizzazione di un nuovo complesso residenziale da parte della società Noranda s.p.a. nel lotto sito in comune di Rezzato, Via Gardesana.

Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del distretto idrografico padano (PGRA) è stato predisposto ai sensi dell'art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e dell'art. 7 del d.lgs. 49/2010, adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po con Deliberazione n. 4 del 17 dicembre 2015, approvato con D.P.C.M. 27 ottobre 2016, pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 30 in data 6 febbraio 2017. La prima revisione del PGRA (PGRA 2021), relativa al sessennio 2022-2027, è stata adottata dalla Conferenza Istituzionale Permanente dell'Autorità di bacino distrettuale del Fiume Po con deliberazione n. 3 del 29 dicembre 2020 e approvata con deliberazione n. 5 del 20 dicembre 2021; è definitivamente approvata con D.P.C.M. del 1° dicembre 2022.

Il PGRA, con le mappe di pericolosità e rischio di alluvione, ha aggiornato e integrato la mappatura delle aree potenzialmente allagabili presente nel PAI individuando aree allagabili in corrispondenza del reticolo principale di pianura e fondovalle, del reticolo secondario collinare e montano, del reticolo secondario naturale e artificiale e delle aree costiere lacuali.

2. INQUADRAMENTO

2.1. INQUADRAMENTO GENERALE

L'area in oggetto è ubicata a est dell'abitato del Comune di Rezzato. Attualmente l'area oggetto d'intervento è occupata da edifici produttivi / commerciali. L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un nuovo complesso residenziale con relative aree verdi, aree di sosta e di circolazione. A seguire si riportano le planimetrie di inquadramento dell'intervento su base ortofoto e su base aerofotogrammetrica; l'intervento in progetto è rappresentato in colore rosso.



Figura 1 – Planimetria di inquadramento



*Figura 2 – Individuazione area oggetto di studio su base ortofoto (inquadramento generale)
“Ortofoto 20 cm/Ortofoto 50 cm ©2015 Consorzio TeA” – fonte Regione Lombardia*



*Figura 3 – Individuazione area oggetto di studio su base ortofoto (particolare)
“Ortofoto 20 cm/Ortofoto 50 cm ©2015 Consorzio TeA” – fonte Regione Lombardia*

2.2. INQUADRAMENTO PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

A seguire si riportano gli elementi utili ad inquadrare compiutamente dal punto di vista della pericolosità, del rischio e dei vincoli di tipo idraulico l'area oggetto di studio e il territorio di intorno.

2.2.1. PAI

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Fiume Po (PAI), adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Deliberazione n. 18 del 26 aprile 2001, è stato approvato con DPCM del 24 maggio 2001 (pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 183 del 8 agosto 2001). Il PAI contiene, riguardo alla pericolosità e al rischio di alluvioni:

- nell'Elaborato 8 "Tavole di delimitazione delle fasce fluviali" la delimitazione delle fasce fluviali (Fascia A, Fascia B, Fascia B di progetto e Fascia C) dell'asta del Po e dei suoi principali affluenti;
- nell'Elaborato 2 "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici" – Allegato 4 "Delimitazione delle aree in dissesto" la delimitazione e classificazione, in base alla pericolosità, dei fenomeni di dissesto che caratterizzano il reticolo idrografico di montagna (conoidi – Ca, Cp, Cn – ed esondazioni di carattere torrentizio – Ee, Eb, Em);
- nell'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 "Perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato", la perimetrazione e la zonazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato in ambiente collinare e montano (zona 1 e zona 2) e sul reticolo idrografico principale e secondario nelle aree di pianura (zona I e zona BPr);
- nell'Elaborato 7 "Norme di attuazione" le norme alle quali le sopracitate aree sono assoggettate.

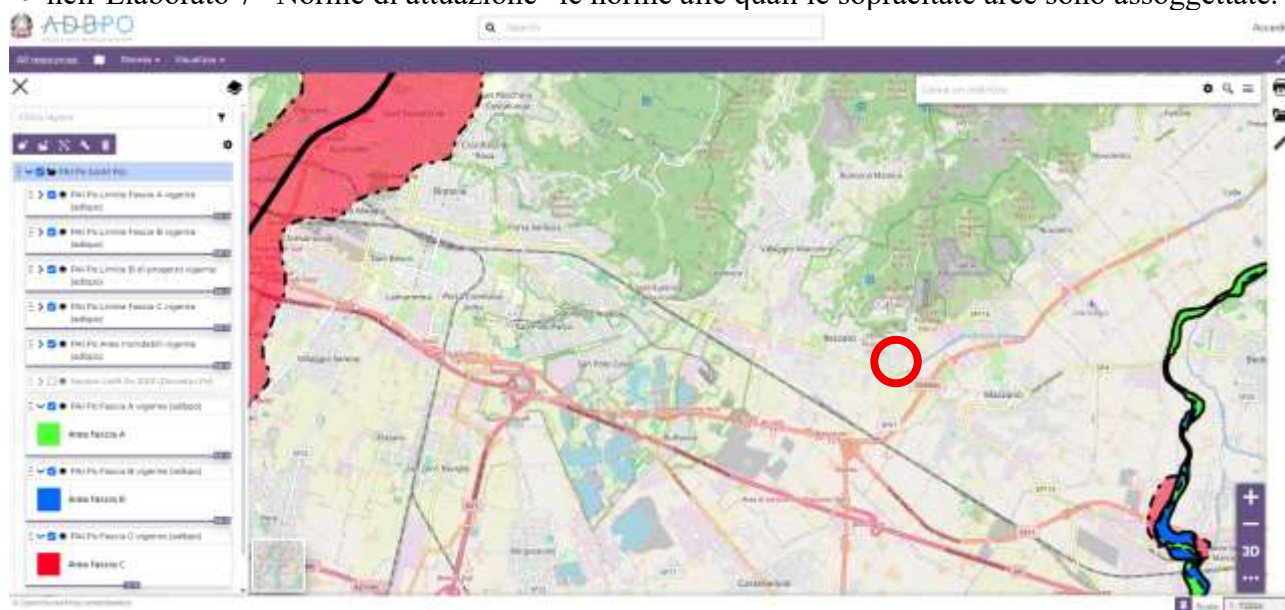


Figura 4 – Estratto del PAI Vigente

Come evidente dalla Figura 4, l'area oggetto della verifica **non è compresa nelle aree delimitate dagli elaborati del PAI.**

2.2.2. PGRA

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), ha aggiornato e integrato la mappatura delle aree potenzialmente allagabili presente nel PAI, rappresentandole nelle mappe di pericolosità e distinguendole nei seguenti scenari di pericolosità:

- aree P3 (H) ad alta pericolosità, potenzialmente interessate da alluvioni frequenti;
- aree P2 (M) a media pericolosità, potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti;
- aree P1(L) a bassa pericolosità, potenzialmente interessate da alluvioni rare.

Le aree allagabili delle mappe di pericolosità del PGRA perimetrate sul territorio della Lombardia sono classificate nei seguenti ambiti territoriali, in base alle diverse tipologie di fenomeni alluvionali:

- reticolo principale di pianura e di fondovalle (RP);
- reticolo secondario collinare e montano (RSCM);
- reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);
- aree costiere lacuali (ACL).

A seguire si riportano gli estratti relativi alle previsioni del PGRA per l'area oggetto di verifica; la cartografia è stata consultata tramite il servizio web del Geoportale della Regione Lombardia.

2.2.2.1. Reticolo secondario collinare e montano (RSCM);

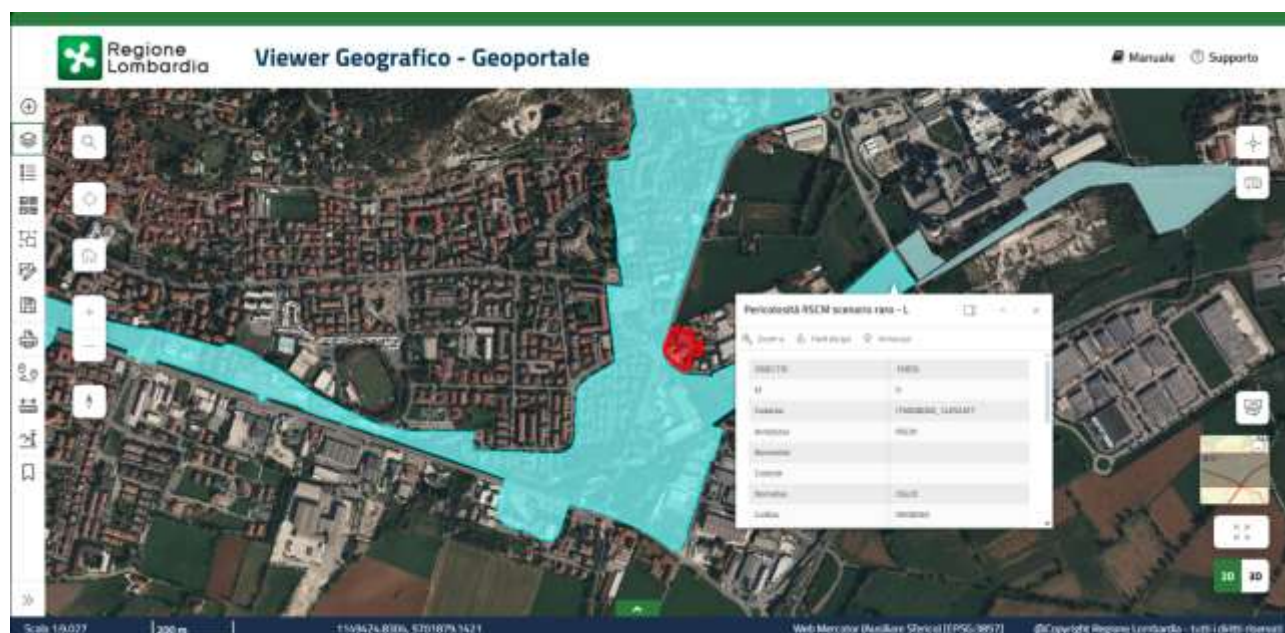


Figura 5 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Perimetrazione Pericolosità RSCM scenario raro – L



Figura 6 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Perimetrazione Pericolosità RSCM scenario poco frequente – M



Figura 7 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Perimetrazione Pericolosità RSCM scenario frequente – H

Come evidente dalla **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.** e Figura 7, l'area oggetto della verifica è adiacente ma NON compresa nelle aree delimitate dagli elaborati della direttiva alluvioni 2007/60/CE per pericolosità RSCM (reticolo secondario collinare e montano) con scenario raro (L), poco frequente (M) e frequente (H).

2.2.2.2. Reticolo secondario di pianura naturale e artificiale (RSP);



Figura 8 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Perimetrazione Pericolosità RSP scenario poco frequente – M

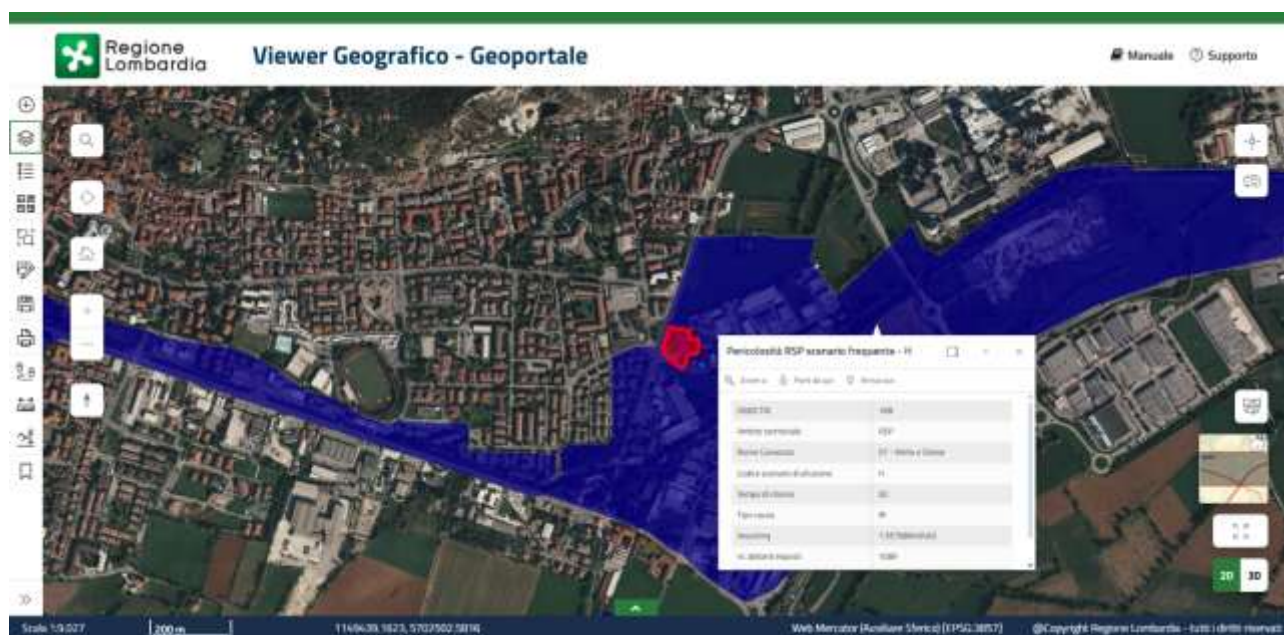


Figura 9 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Perimetrazione Pericolosità RSP scenario frequente – H

Come evidente dalla Figura 8 e dalla Figura 9, l'area oggetto della verifica è compresa nelle aree delimitate dagli elaborati della direttiva alluvioni 2007/60/CE per **pericolosità RSP (reticolo secondario di pianura naturale e artificiale)** con scenario poco frequente (M) e frequente (H).

2.2.2.3. Livello di rischio

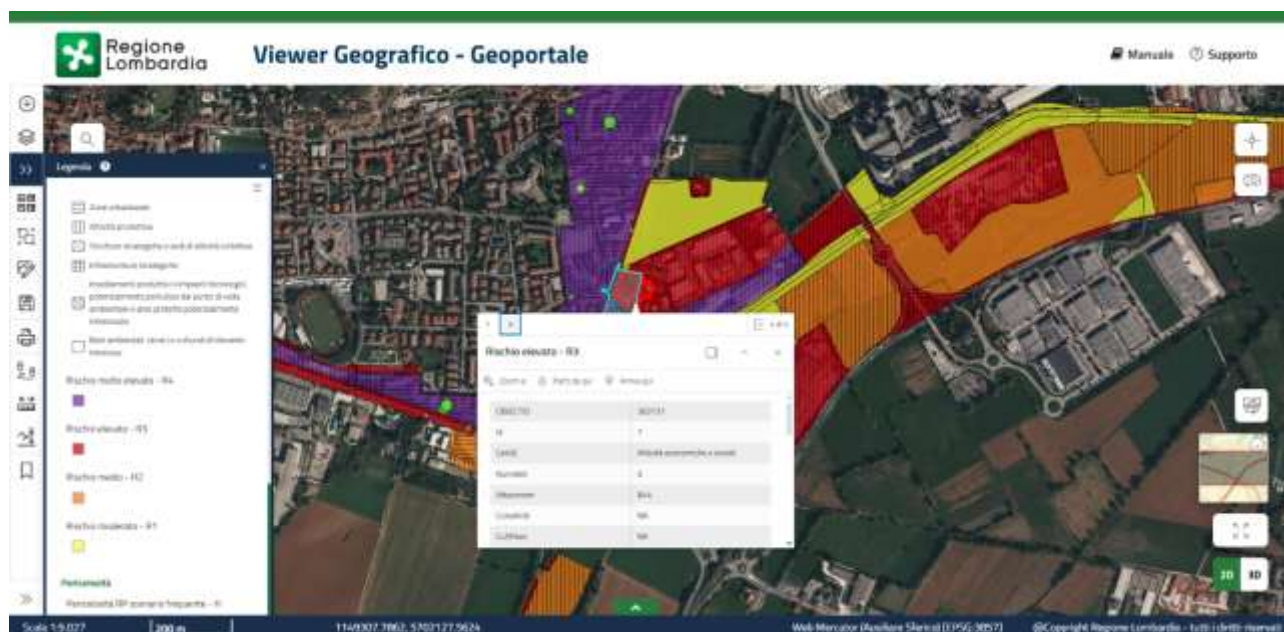


Figura 10 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Livello di rischio

L'area oggetto della verifica è classificata dagli elaborati della direttiva alluvioni 2007/60/CE con categoria di **elemento esposto "Attività produttive"** e **livello di rischio elevato (R3)**.

2.3. INQUADRAMENTO IDRAULICO

A seguire si riportano gli elementi utili ad inquadrare compiutamente dal punto di vista idraulico l'area oggetto di studio e il territorio di intorno.

2.3.1. DATI E STRUMENTI DI RIFERIMENTO

A supporto delle verifiche idrauliche condotte sono stati impiegati i seguenti dati e strumenti disponibili attraverso il Geoportale della Regione Lombardia, il portale WebGIS dell'Autorità di bacino distrettuale del fiume Po e il geoportale Secoval-Prometeo:

- Servizio di mappa "Direttiva Alluvioni";
- Servizio di mappa "Studi geologici comunali";
- Servizio di mappa "Reticolo Idrografico Regionale Unificato";
- Servizio di mappa "Copertura rilievi LIDAR";
- Servizio di mappa "Sezioni trasversali corsi d'acqua - Topografia, portate, livelli, velocità"

Devono inoltre essere utilizzati come riferimento:

- Allegato 1 al PGRA "Schede descrittive delle mappe di pericolosità sul Reticolo Principale (fonti, criteri, livelli di confidenza) – marzo 2016";
- Allegato 4 alla d.g.r. X/6738/2017;
- D.g.r. 19 giugno 2017, n. 6738;
- D.g.r. 18 dicembre 2017, n. X/7581;
- Valutazioni di dettaglio della pericolosità e del rischio svolte dai Comuni in attuazione del PAI e del PGRA;

A seguire si riportano le risultanze delle ricerche condotte attraverso gli strumenti sopra elencati.

2.3.2. DIRETTIVA ALLUVIONI

Per quanto riguarda la “Direttiva Alluvioni” si rimanda agli estratti già riportati precedentemente. L’area oggetto della verifica è compresa nelle aree di **pericolosità RSP con scenario poco frequente (M)** e con **scenario frequente (H)** ed è classificata con categoria di **elemento esposto “Attività produttive”** e **livello di rischio elevato (R3)**.

2.3.3. STUDI GEOLOGICI COMUNALI

Per quanto riguarda gli “studi geologici comunali” si riportano gli estratti relativi a:

- Carta PAI – PGRA;
- Carta dei vincoli;
- Carta della fattibilità geologica.

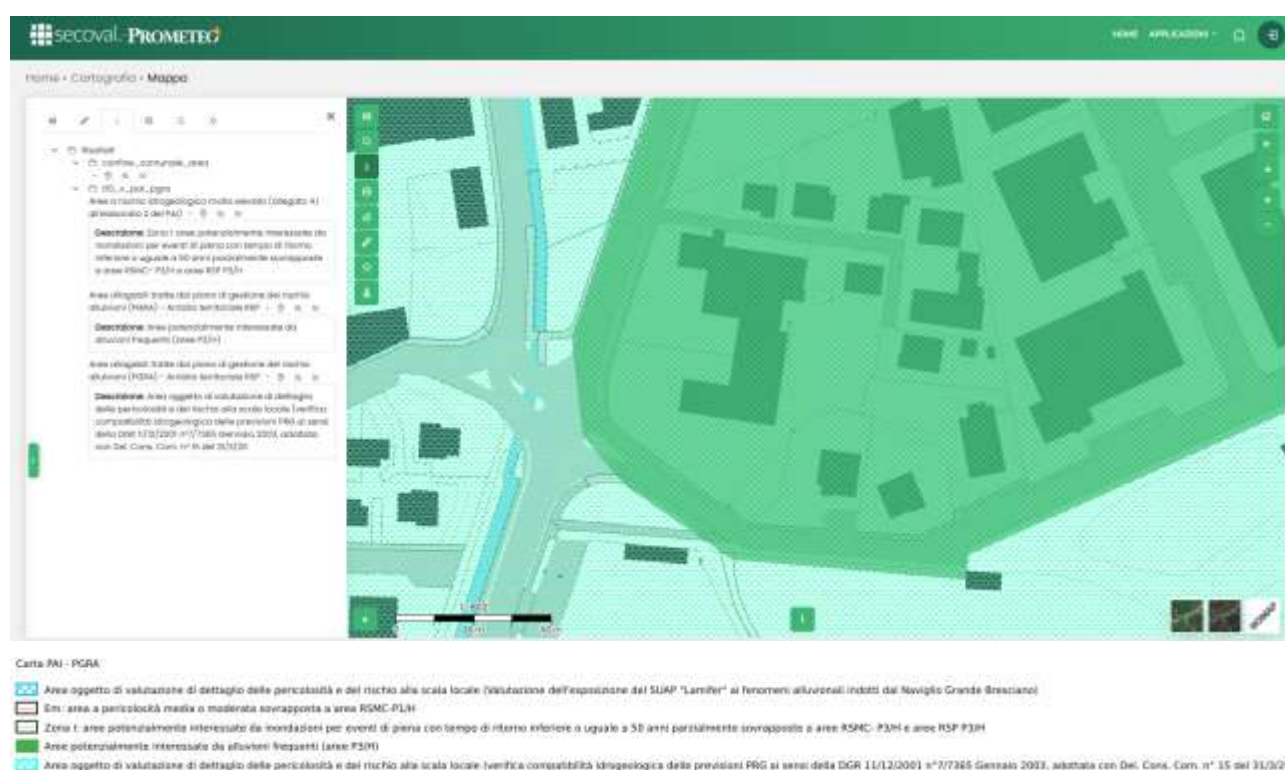
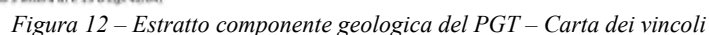


Figura 11 – Estratto componente geologica del PGT – Carta PAI - PGRA

L’area oggetto della verifica **non è compresa nelle aree delimitate dal PAI** ed è **compresa nelle aree delimitate dal PGRA**. Per i dettagli si rimanda ai paragrafi precedenti in cui si sono valutati nel dettaglio i singoli ambiti territoriali e i relativi scenari di pericolosità.





Pericolosità sismica locale

- SCENARI PSL Z4d: AREE A POTENZIALE AMPLIFICAZIONE LITOLOGICA con valori locali di F_a di sito maggiore di F_a di soglia
- Scenari PSL Z1c e Z2. SCENARI Z3b con F_a di sito maggiore F_a di soglia. AREE CON OBBLIGO DI APPROFONDIMENTO DI 3 LIVELLO
- AMBITO OGGETTO DI ATTIVITA' DI CAVA

4b-Aree a rischio idrogeologico molto elevato - Zona I (all. 4.1 elab. 2 del PAI del C.I. n. 18/2001) esterne al centro edificato

4b-Aree a rischio idrogeologico molto elevato - Zona I (all. 4.1 elab. 2 del PAI del C.I. n. 18/2001) esterne al centro edificato

2 - Aree a rischio idrogeologico molto elevato valutate a pericolosità idraulica H1 e zona esondabile Em del PAI

2 - Aree a rischio idrogeologico molto elevato valutate a pericolosità idraulica H1 e zona esondabile Em del PAI

Fattibilità

- 1 - Area di pianura
- 3a - Aree a rischio idrogeologico molto elevato - Zona I (all. 4.1 - elab. 2 del PAI - Del C.I. n. 18/2001) interne al centro edificato valutate a rischio elevato R3
- 3b - Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti lungo il Reticolo Secondario di Pianura (aree P3/H) tratte dal PGRA
- 3c - Aree di cava di calcari e carbonati, di pietre ornamentali e di ghiaia e sabbia inserite nel Piano Provinciale Cave A.T.E. c01 (ex ATE n.1), c02 (ex ATE n.2), o04 (ex ATE 4), o05 (ex ATE 5), g25 (ex ATE 25)
- 3d - Aree di cava di ghiaia e sabbie dismesse e aree di discarica autorizzate
- 3e - Aree ad alta vulnerabilità delle acque sotterranee
- 3f - Aree con versanti da mediamente acclivi ad acclivi
- 3g - Aree poste a valle di zone soggette a fenomeni gravitativi o caduta massi
- 3h - Aree caratterizzate da terreni con caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti
- 4a - Aree caratterizzate da fenomeni di dissoluzione carsica (doline)
- 4c - Aree di cava in roccia dismesse e contraddistinte da fronti di scavo in roccia - Aree interessate da fenomeni di instabilità dei versanti

Figura 13 – Estratto componente geologica del PGT – Fattibilità geologica

L'area oggetto della verifica è classificata come **“3b – Aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti lungo il reticolo secondario di pianura (aree P3/H) tratte dal PGRA”**.

2.3.4. RETICOLO IDROGRAFICO REGIONALE UNIFICATO

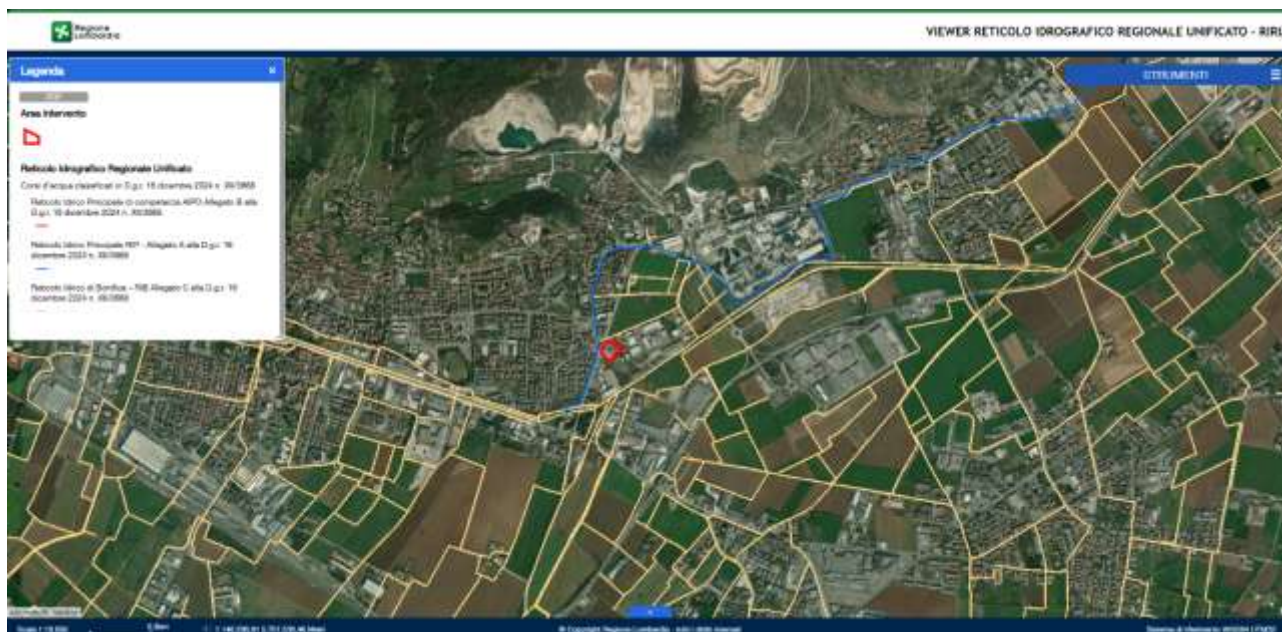


Figura 14 – Estratto del Reticolo Idrografico Regionale Unificato

Il servizio di mappa del Reticolo Idrografico Regionale Unificato individua, nell'immediato intorno dell'area oggetto di verifica, i seguenti corpi idrici:

- Rio Rudone – appartenente al Reticolo Idrico Principale RIP – Allegato A alla D.g.r. 16 dicembre 2024 n.XII/3668 – codice reticolo idrico principale BS075Z – Elenco Acque Pubbliche Storico n.203 (indicato in blu nella Figura 14);
- Canale Naviglio Grande Bresciano – appartenente al Reticolo Idrico di Bonifica – RIB – Allegato C alla D.g.r. 16 dicembre 2024 n.XII/3668 – Codice reticolo idrico bonifica 1.
- Roggia Rudone Abate – costituita da vari rami secondari del Rio Rudone – (appartenente al Reticolo Idrico di Bonifica – RIB – Allegato C alla D.g.r. 16 dicembre 2024 n.XII/3668 – Codice reticolo idrico bonifica 1.16.

Sono presenti, inoltre, a sud del Naviglio (a monte della confluenza del Rio Rudone):

- Roggia Mazzanesca – Bocchetto Scale (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.39.1);
- Roggia Roberta (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.27);
- Roggia Lupa (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 47);
- Roggia Rena (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.25)

Sono presenti, infine, a nord e a sud del Naviglio (a valle della confluenza del Rio Rudone):

- Roggia Rudone B. Mora (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.21);
- Roggia Treina (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.24);
- Roggia Cavallina (RIB – All.C Dgr 16/12/2024 n.XII/3668 – codice 1.5);

2.3.5. Copertura rilievi LIDAR



Figura 15 – Estratto del servizio di mappa “Copertura rilievi LIDAR”

I rilievi LiDAR sono rilievi topografici ad alta precisione, ottenuti con tecnologia Laser Scanning LiDAR – Light Detection And Ranging, realizzati nell’ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento per la verifica e il monitoraggio delle aree ad elevato rischio idrogeologico.

L’area oggetto della verifica è **compresa nelle aree coperte dai rilievi LIDAR**. In particolare, i dati per l’area sono compresi nel set di dati “Rilievo PST Min. Ambiente”.

I quadri di unione dei dati LiDAR e i cluster dei dati interferometrici sono accessibili attraverso i servizi WMS e WFS del Geoportale Nazionale. Tramite l’apposito servizio del Geoportale Nazionale del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica, è possibile scaricare:

- i dati LiDAR - DTM, DSM First, DSM Last – in formato GeoTiff;
- i dati Interferometrici PS (ERS, ENVISAT, COSMO-SkyMed) – in formato shapefile.

I dati sono distribuiti con licenza CC BY 4.0¹ con obbligo della citazione della paternità del dato. Tali dati sono stati rielaborati dal sottoscritto, nell’ambito dello studio in oggetto, al fine di ottenere un modello digitale del terreno preciso e idoneo all’impiego nelle successive elaborazioni numeriche.

¹ Per i dettagli della licenza si veda: Canonical URL <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



CC BY 4.0 – Attribuzione 4.0 Internazionale

Deed

Tu sei libero di:

Condividere — riprodurre, distribuire, comunicare al pubblico, esporre in pubblico, rappresentare, eseguire e recitare questo materiale con qualsiasi mezzo e formato per qualsiasi fine, anche commerciale.

Modificare — remixare, trasformare il materiale e basarti su di esso per le tue opere per qualsiasi fine, anche commerciale.

Il licenziante non può revocare questi diritti fintanto che tu rispetti i termini della licenza.

Alle seguenti condizioni:

Attribuzione — Devi riconoscere una menzione di paternità adeguata, fornire un link alla licenza e indicare se sono state effettuate delle modifiche. Puoi fare ciò in qualsiasi maniera ragionevole possibile, ma non con modalità tali da suggerire che il licenziante avalli te o il tuo utilizzo del materiale.

Divieto di restrizioni aggiuntive — Non puoi applicare termini legali o misure tecnologiche che impongano ad altri soggetti dei vincoli giuridici su quanto la licenza consente loro di fare.

Note:

Non sei tenuto a rispettare i termini della licenza per quelle componenti del materiale che siano in pubblico dominio o nei casi in cui il tuo utilizzo sia consentito da una eccezione o limitazione prevista dalla legge.

Non sono fornite garanzie. La licenza può non conferirti tutte le autorizzazioni necessarie per l'utilizzo che ti prefiggi. Ad esempio, diritti di terzi come i diritti all'immagine, alla riservatezza e i diritti morali potrebbero restringere gli usi che ti prefiggi sul materiale.

2.3.6. Sezioni trasversali corsi d'acqua - Topografia, portate, livelli, velocità



Figura 16 – Estratto del servizio di mappa “Sezioni trasversali corsi d'acqua - Topografia, portate, livelli, velocità”

Il servizio di mappa “Sezioni trasversali corsi d'acqua - Topografia, portate, livelli, velocità” mostra l’ubicazione delle sezioni trasversali dei corsi d’acqua (Ambito territoriale Reticolo Principale – RP del PGRA e Fasce fluviali A e B) e rende disponibili i dati associati relativi alla geometria dell’alveo, dei terreni circostanti, dei manufatti interferenti e i dati idraulici corrispondenti a quelli riportati nel documento “Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale” redatto dall’Autorità di Bacino distrettuale del Fiume Po e parte integrante del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Bacino del Fiume Po (PGRA).

Per gli elementi del reticolo idrico presenti nell’area oggetto della verifica **non sono disponibili i dati relativi alle sezioni trasversali, alla topografia, alle portate, ai livelli e alle velocità.**

3. ULTERIORI ELEMENTI DI INQUADRAMENTO

3.1. PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO

A seguire si riportano stralci del Documento di Piano del Piano di Governo del Territorio e della componente geologica dello stesso, utili alla migliore definizione e ad un più preciso inquadramento idro-geologico dell'area.



Figura 17 – Estratto del Piano delle Regole del PGT del Comune di Rezzato

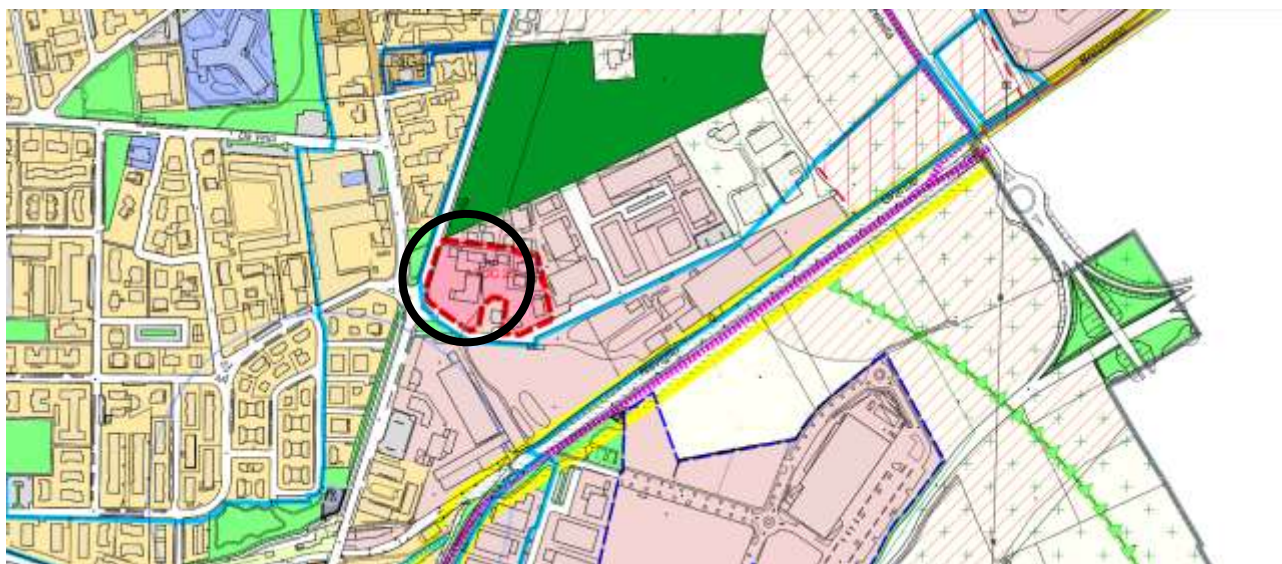


Figura 18 – Estratto del Documento di Piano del PGT del Comune di Rezzato

3.2. RETICOLO IDRICO

A seguire si riportano stralci del “Reticolo Idraulico” alla migliore definizione e ad un più preciso inquadramento idraulico dell’area.

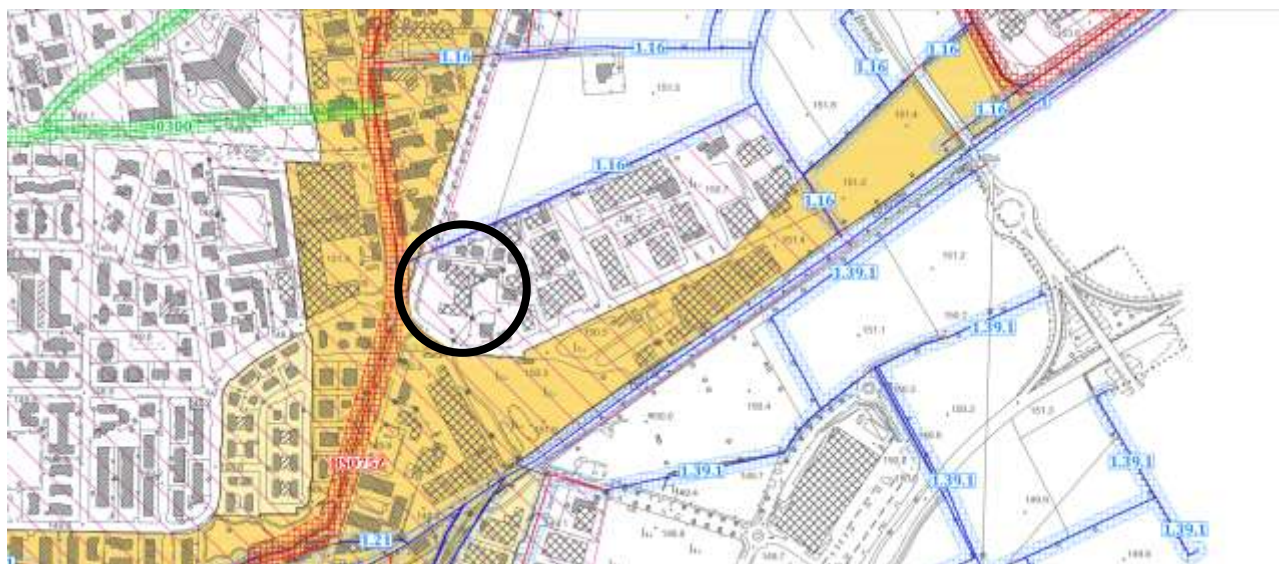


Figura 19 – Estratto Documento di Piano – Aggiornamento della componente geologica, idrogeologica e sismica – Individuazione del reticolo idraulico – RIM-TAV. N.1 V3



Figura 20 – Piano di Governo del Territorio – Documento semplificato del rischio idraulico – TAV. T11a V3

4. PARAMETRI PLUVIOMETRICI

Si assumono, per l'evento meteorico di progetto, i parametri desunti dai dati del "Sistema Informativo Idrologico" SIDRO di ARPA Lombardia di seguito riportati.



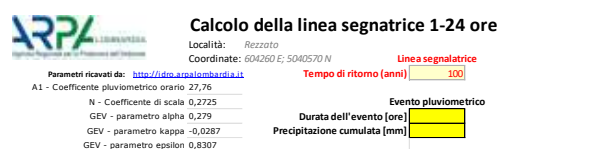
Figura 21 – Sistema Informativo Idrologico" SIDRO di ARPA Lombardia – Parametri pluviometrici per eventi $1h < t < 24h$

Per eventi con durata $D < 1 h$

$$a = 27,76 \quad \alpha = 0,279 \quad \kappa = -0,0287 \quad \varepsilon = 0,8307 \quad n = 0,50 \text{ (All.G R.R. 7/2017)}$$

Per eventi con durata $1 > D > 24 h$

$$a = 27,76 \quad \alpha = 0,279 \quad \kappa = -0,0287 \quad \varepsilon = 0,8307 \quad n = 0,2725$$



Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left[1 - \left(\frac{T}{T-1} \right)^k \right]$$

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	1000
Int	0,93350	1,25832	1,47927	1,69573	1,98264	2,20272	2,42643	2,8071994
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 1000 anni
1	25,9	34,9	41,1	47,1	55,0	61,1	67,4	81,147486
2	31,3	42,2	49,6	56,9	66,5	73,9	81,4	97,859996
3	35,0	47,1	55,4	63,5	74,2	82,5	90,9	108,486409
4	37,8	51,0	59,9	68,7	80,3	89,2	98,3	117,2154261
5	40,2	54,2	63,7	73,0	85,3	94,8	104,4	124,8086434
6	42,2	56,9	66,9	76,7	89,7	99,6	109,8	130,6379588
7	44,0	59,4	69,8	80,0	93,5	103,9	114,5	135,912507
8	45,7	61,6	72,4	83,0	97,0	107,8	118,7	140,7632337
9	47,2	63,6	74,7	85,7	100,2	111,3	122,4	145,209897
10	48,5	65,4	76,9	88,2	103,1	114,5	126,1	149,319779
11	49,8	67,1	78,9	90,5	105,8	117,5	129,5	153,152538
12	51,0	68,8	80,8	92,7	108,3	120,4	132,6	156,752605
13	52,1	70,3	82,6	94,7	110,7	123,0	135,5	160,166531
14	53,2	71,7	84,3	96,6	113,0	125,5	138,3	163,415828
15	54,2	73,1	85,9	98,5	115,1	127,9	140,9	166,547918
16	55,2	74,4	87,4	100,2	117,2	130,2	143,4	169,577122
17	56,1	75,6	88,9	101,9	119,1	132,3	145,8	172,533537
18	57,0	76,8	90,3	103,5	121,0	134,4	148,1	175,412718
19	57,8	77,9	91,6	105,0	122,8	136,4	150,3	178,217724
20	58,6	79,0	92,9	106,5	124,5	138,3	152,4	180,952774
21	59,4	80,1	94,1	107,9	126,2	140,2	154,4	183,627931
22	60,2	81,1	95,3	109,3	127,8	142,0	156,4	186,247452
23	60,9	82,1	96,5	110,6	129,3	143,7	158,3	188,815756
24	61,6	83,0	97,6	111,9	130,8	145,4	160,1	191,337809

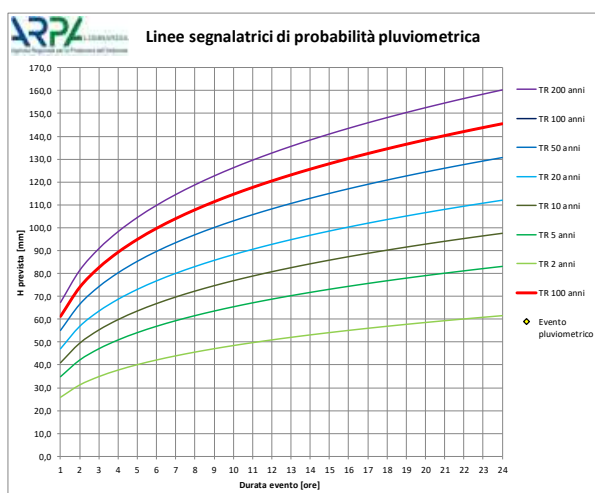


Tabella 1 – Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 24 ore

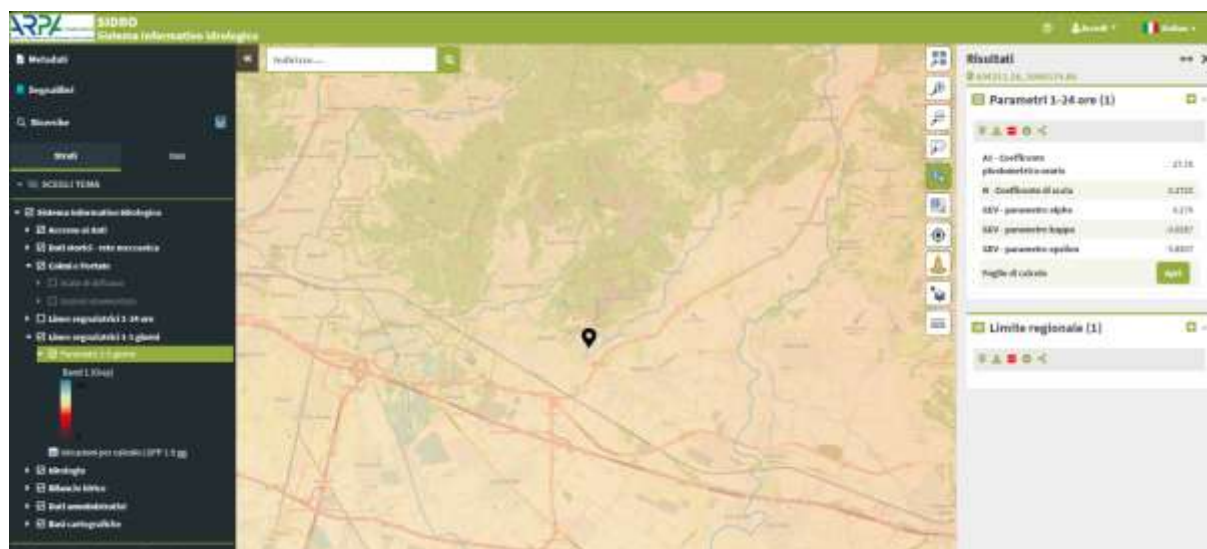


Figura 22 – Sistema Informativo Idrologico” SIDRO di ARPA Lombardia – Parametri pluviometrici per eventi $t > 24h$

Per eventi con durata $1 > D > 5$ gg

$$a = 19,7633$$

$$n = 0,325885$$

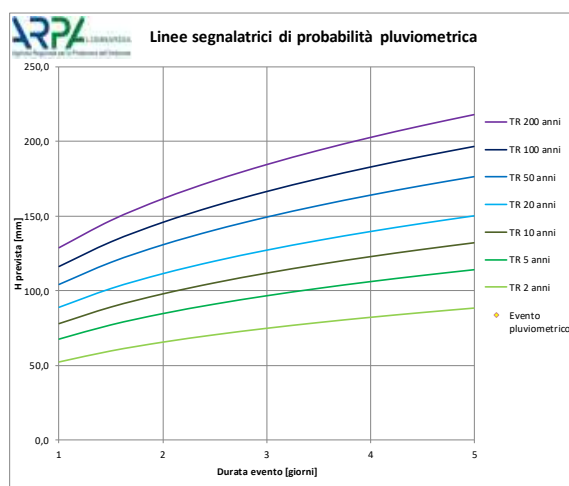
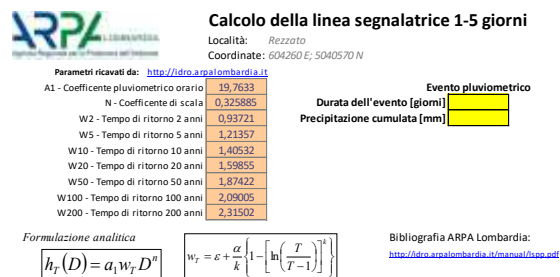


Tabella 2 – Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per eventi di durata compresa tra 1 e 5 giorni

Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200
WT	0,93721	1,21357	1,40532	1,59855	1,87422	2,09005	2,31502
Durata (gg)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni
1	52,2	67,6	78,2	89,0	104,3	116,4	128,9
1,5	59,5	77,1	89,3	101,6	119,1	132,8	147,1
2	65,4	84,7	98,1	111,6	130,8	145,9	161,5
2,5	70,3	91,1	105,5	120,0	140,7	156,9	173,7
3	74,6	96,6	111,9	127,3	149,3	166,5	184,4
3,5	78,5	101,6	117,7	133,9	157,0	175,0	193,9
4	82,0	106,1	122,9	139,8	163,9	182,8	202,5
4,5	85,2	110,3	127,7	145,3	170,4	190,0	210,4
5	88,2	114,2	132,2	150,4	176,3	196,6	217,8

5. EVENTO METEORICO DI PROGETTO

Il tempo di ritorno dell'evento è assunto pari a 100 anni.

La legge di pioggia è pertanto così espressa:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

Dove w_T è:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} = 2,20272$$

Il parametro n è assunto pari a 0,2725 per eventi con durata maggiore di 1 ora, per eventi con durata minore di 1 ora n si assume pari a 0,50, secondo quanto previsto dall'All.G del Regolamento Regione Lombardia n. 7/2017.

Le altezze di pioggia determinate in funzione del tempo sono rappresentate di seguito.

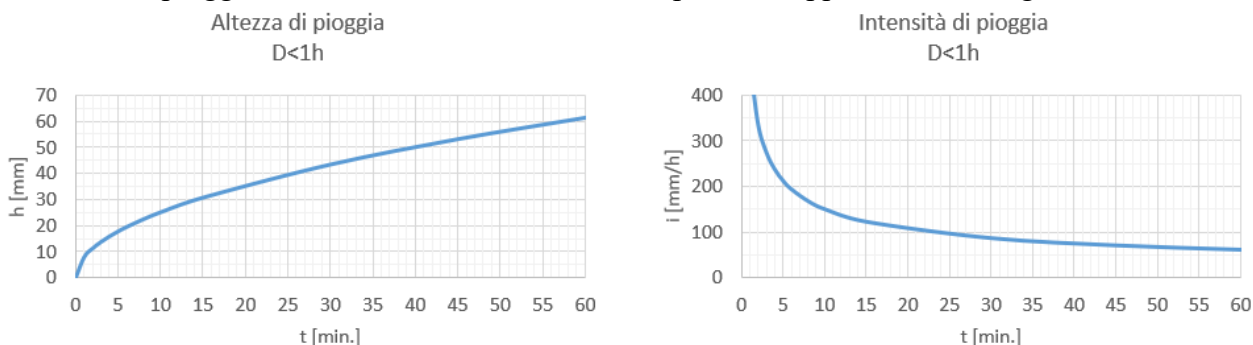


Figura 23 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $D < 1h$

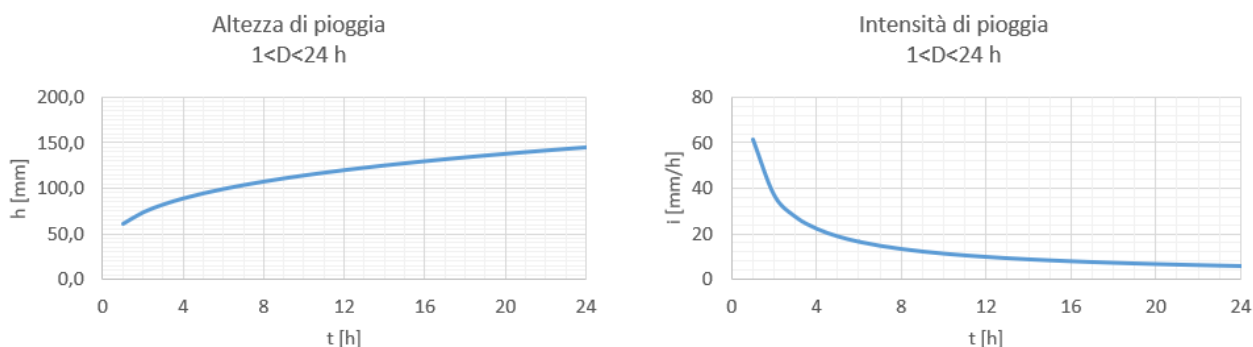


Figura 24 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $1h < D < 24h$

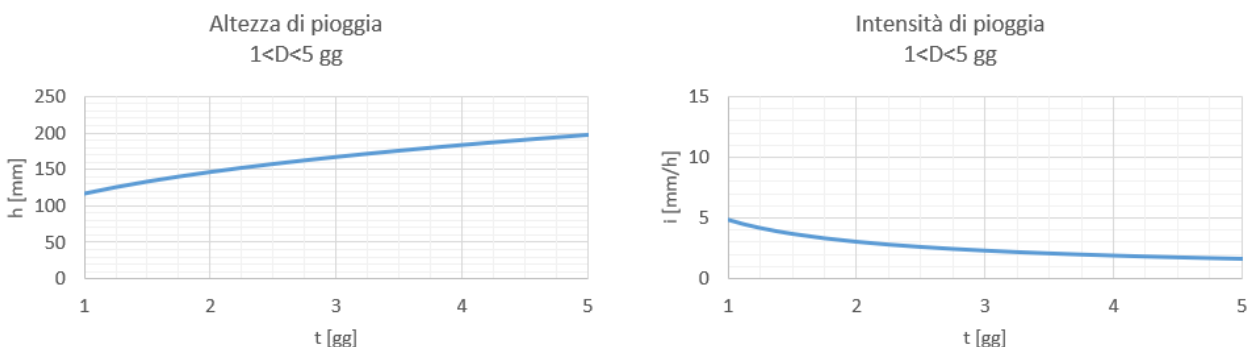


Figura 25 – Altezza e intensità di pioggia per l'evento meteorico di progetto con $1g < D < 5gg$

6. CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

6.1. PREMESSA

Ai fini del calcolo delle portate transitanti nel canale Naviglio Grande Bresciano e nel Rio Rudone è necessario valutare il sistema di bacini, vasi e corsi d'acqua posti a monte dell'area di studio.

In particolare, devono essere considerati i contributi alle portate prodotti dai seguenti elementi:

- Portate irrigue in derivazione dal Fiume Chiese;
- Eventuali scarichi dei depuratori delle fognature;
- Eventuali scaricatori di piena delle fognature;
- Portate defluenti dai bacini imbriferi e raccolte dalle reti di canali irrigui e dei consorzi di bonifica.

A seguire si riporta planimetria del territorio interessato dalle valutazioni.

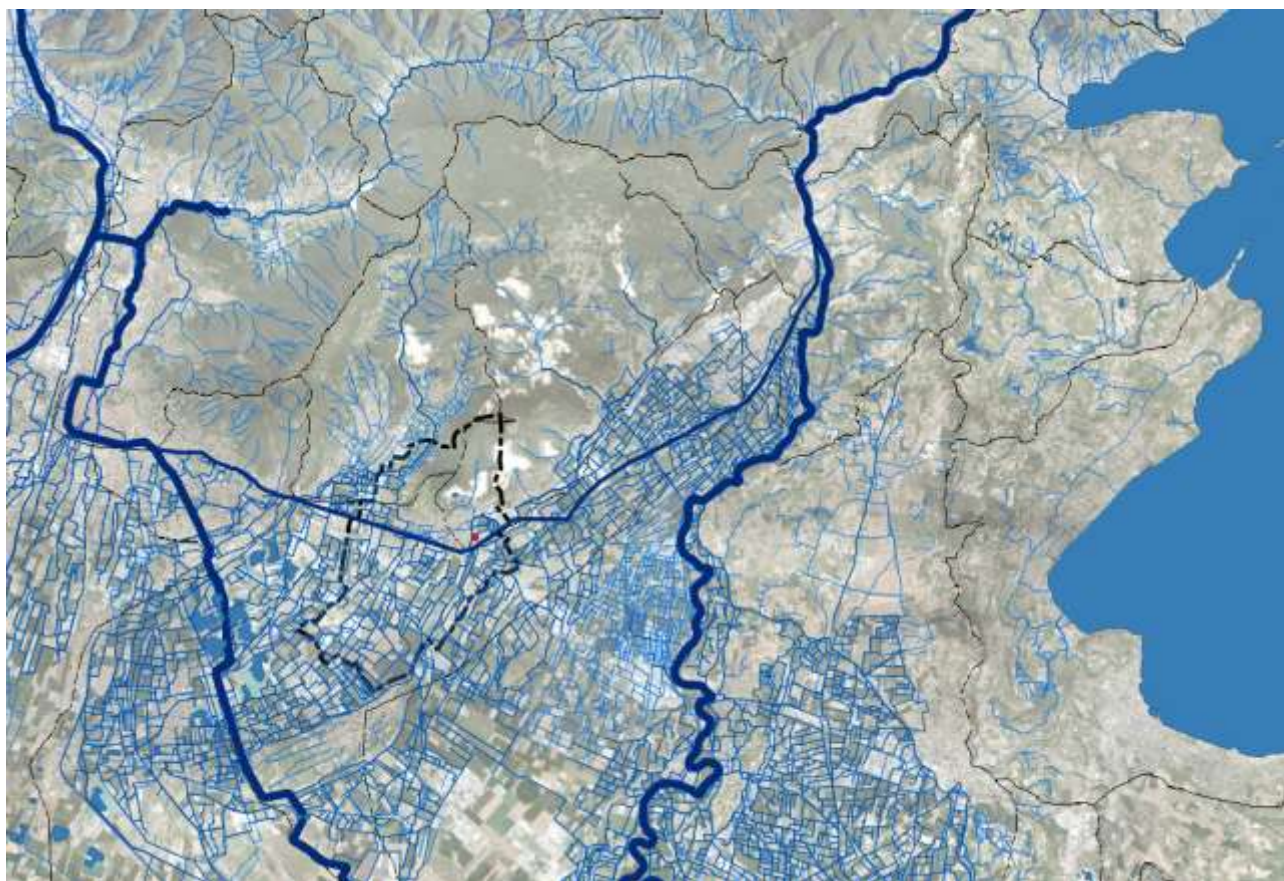


Figura 26 – Planimetria generale dell'area oggetto di valutazione con indicazione dei corsi d'acqua

6.2. DETERMINAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI

A seguire si riporta il reticolo idrico sovrapposto al modello digitale del terreno “DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015)” di Regione Lombardia”.

Il corso del Rio Rudone è evidenziato in colore magenta, il corso del canale Naviglio Grande Bresciano è evidenziato in colore arancione, il territorio del comune di Rezzato è perimetrato con linea a tratto-punto in nero e l’area di intervento è perimetrata con linea rossa.

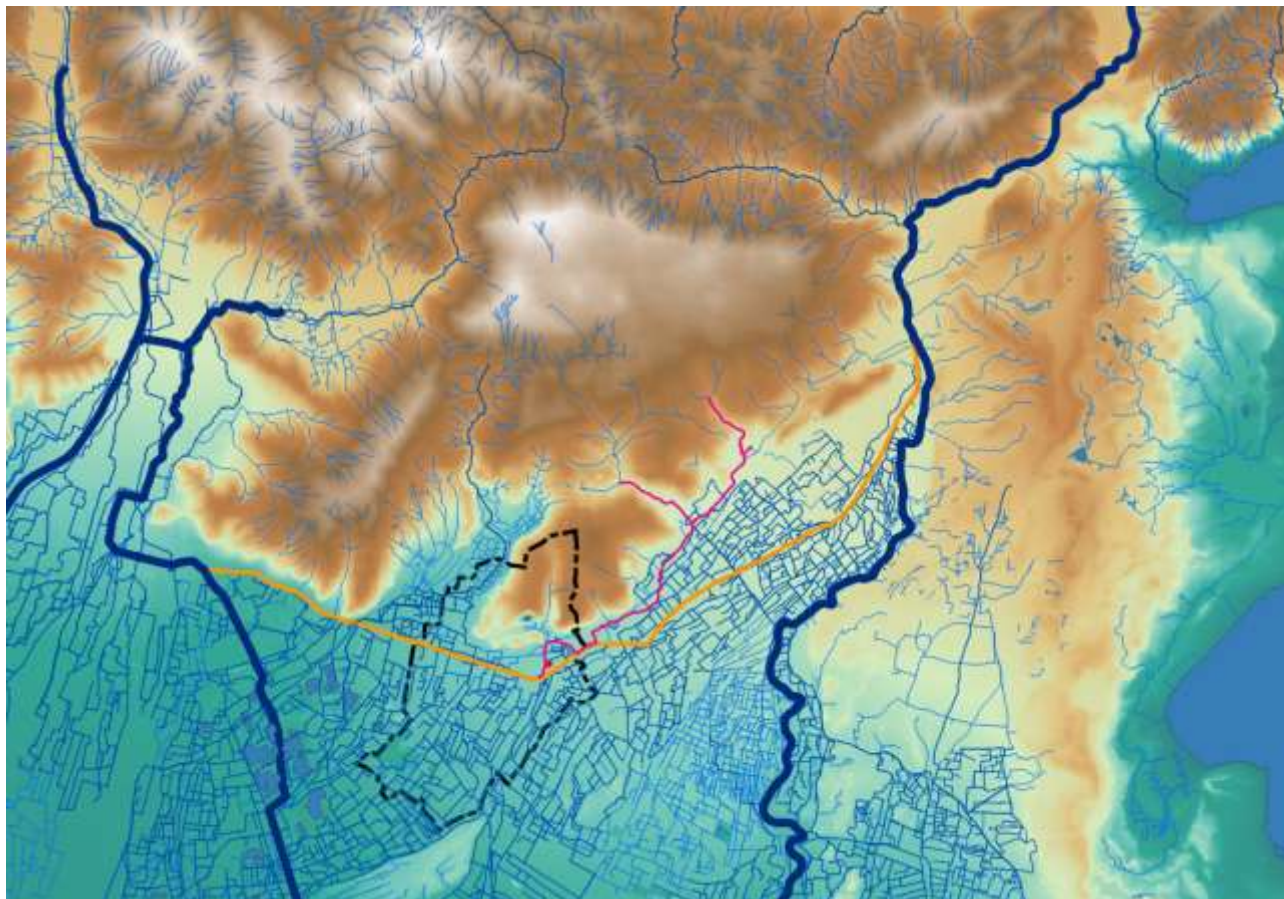


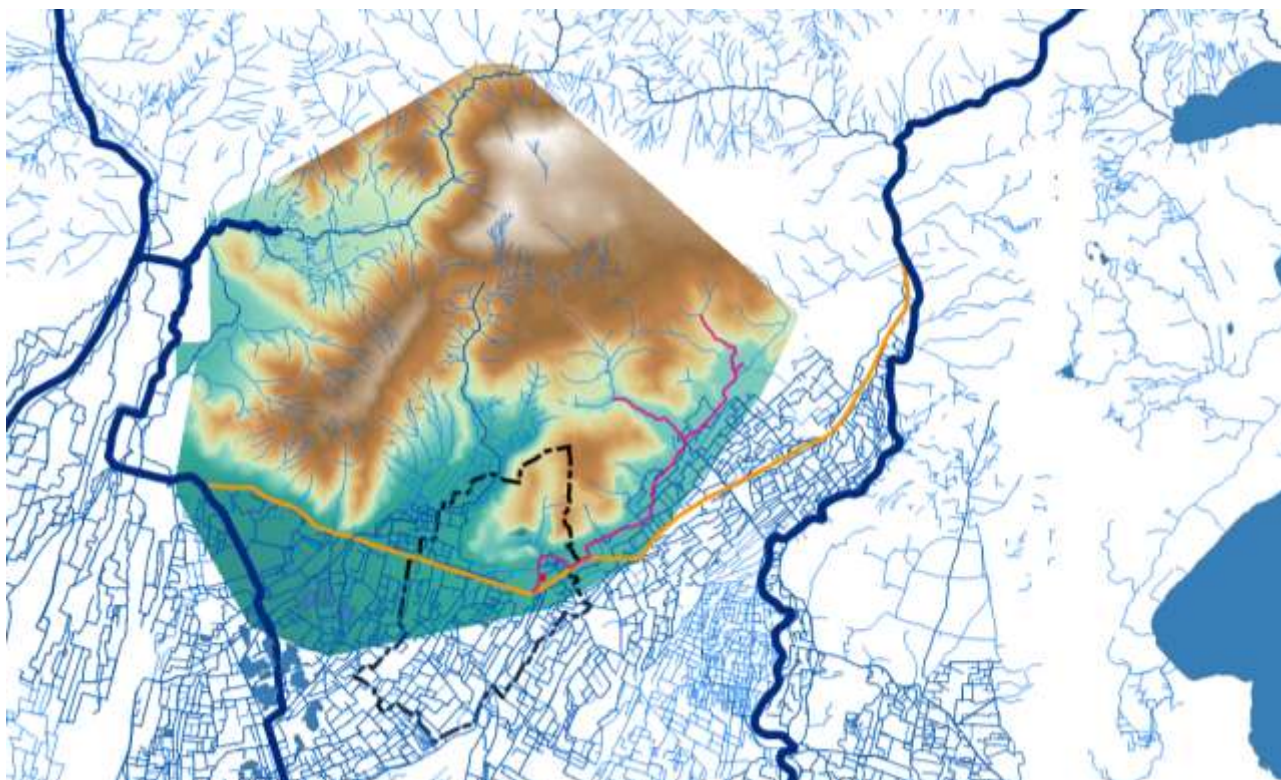
Figura 27 – Modello digitale del terreno dell’area oggetto di valutazione
 (“DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015)” di Regione Lombardia”)

Ad integrazione dei dati del modello digitale del terreno “DTM 5x5” di Regione Lombardia, per le aree maggiormente significative, si sono integrati i dati con i rilievi LiDAR descritti al §2.3.5.

Questi rilievi topografici ad alta precisione, ottenuti con tecnologia Laser Scanning LiDAR e realizzati nell’ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento per la verifica e il monitoraggio delle aree ad elevato rischio idrogeologico, sono stati scaricati dal Geoportale Nazionale del Ministero dell’Ambiente e della Sicurezza Energetica. In particolare, si è impiegato il modello digitale del terreno DTM in formato GeoTiff, distribuito con licenza CC BY 4.0.

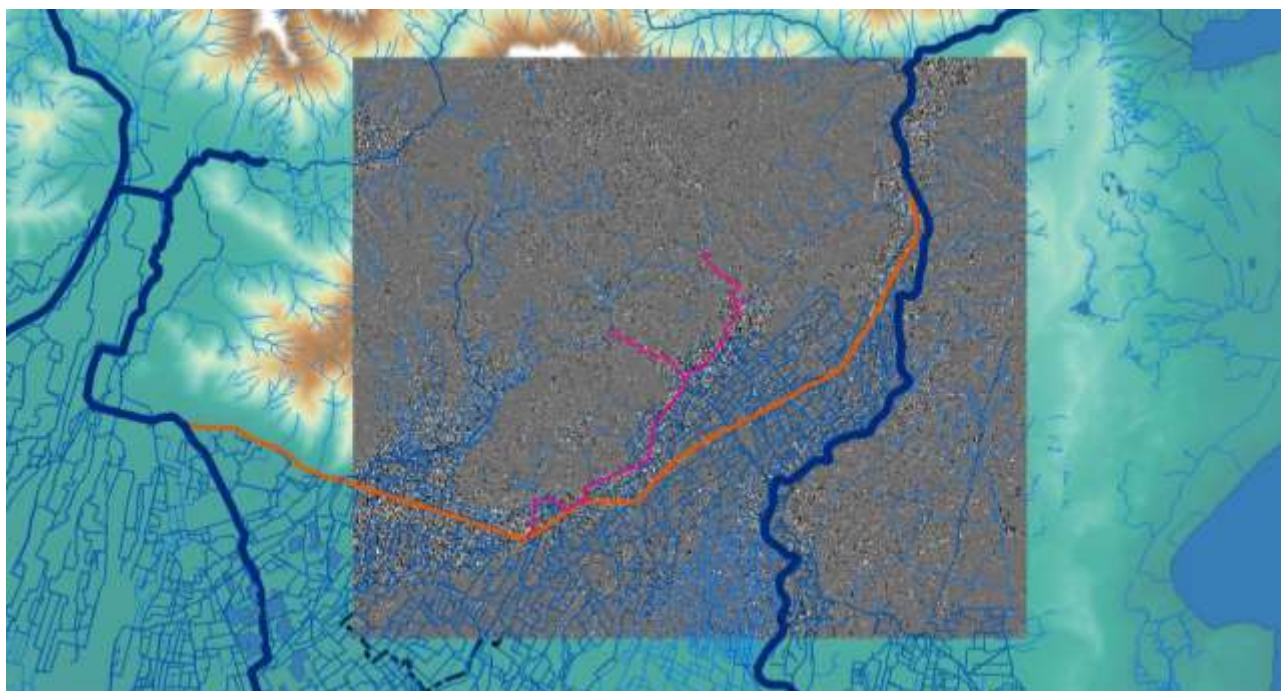
Tale modello ha una risoluzione 1x1 metri e, quindi, ha consentito lo sviluppo di un modello idraulico più raffinato e più aderente alla realtà.

A seguire si riporta il reticolo idrico sovrapposto alla porzione di modello digitale del terreno con risoluzione 1x1 m.



*Figura 28 – Modello digitale del terreno dell'area oggetto di valutazione
("DTM 1x1 da LiDAR del Rilievo PST Min. Ambiente")*

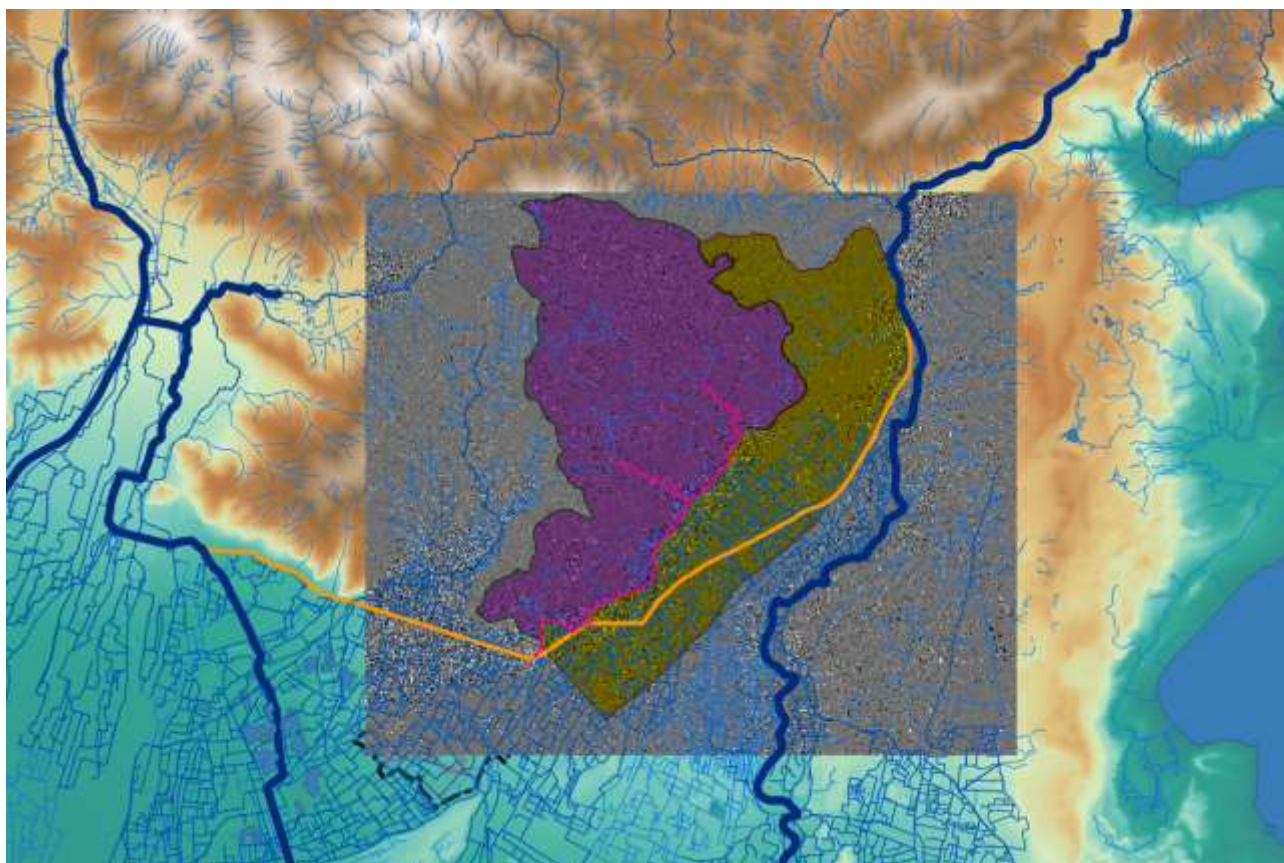
Su una porzione significativa del modello digitale del terreno è stata eseguita una elaborazione con algoritmo "SAGA Next Gen – Terrain Analysis – Flow Width and Specific Catchment Area" e metodologia "Multiple Flow Direction" al fine di evidenziare i bacini imbriferi. Il risultato dell'elaborazione è illustrato nella figura seguente.



*Figura 29 – Risultato dell'analisi con algoritmo "SAGA Next Gen – Terrain Analysis – Flow Width and Specific Catchment Area"
sul modello digitale del terreno*

Valutando infine i risultati dell'analisi di cui sopra si è proceduto ad individuare i bacini idrografici per le porzioni contribuenti alle sezioni di chiusura necessarie allo svolgimento delle analisi di compatibilità idraulica.

A seguire si riporta, sovrapposto ai dati del modello digitale del terreno ed ai risultati dell'analisi, la perimetrazione dei bacini imbriferi.



*Figura 30 – Perimetrazione dei bacini imbriferi sulla base dei risultati dell'analisi con algoritmo
“SAGA Next Gen – Terrain Analysis – Flow Width and Specific Catchment Area” sul modello digitale del terreno*

Si riportano infine, per maggiore chiarezza, i medesimi bacini sovrapposto al solo reticolo idrico (in magenta il bacino del Rio Rudone, in giallo il bacino del Naviglio Grande Bresciano).

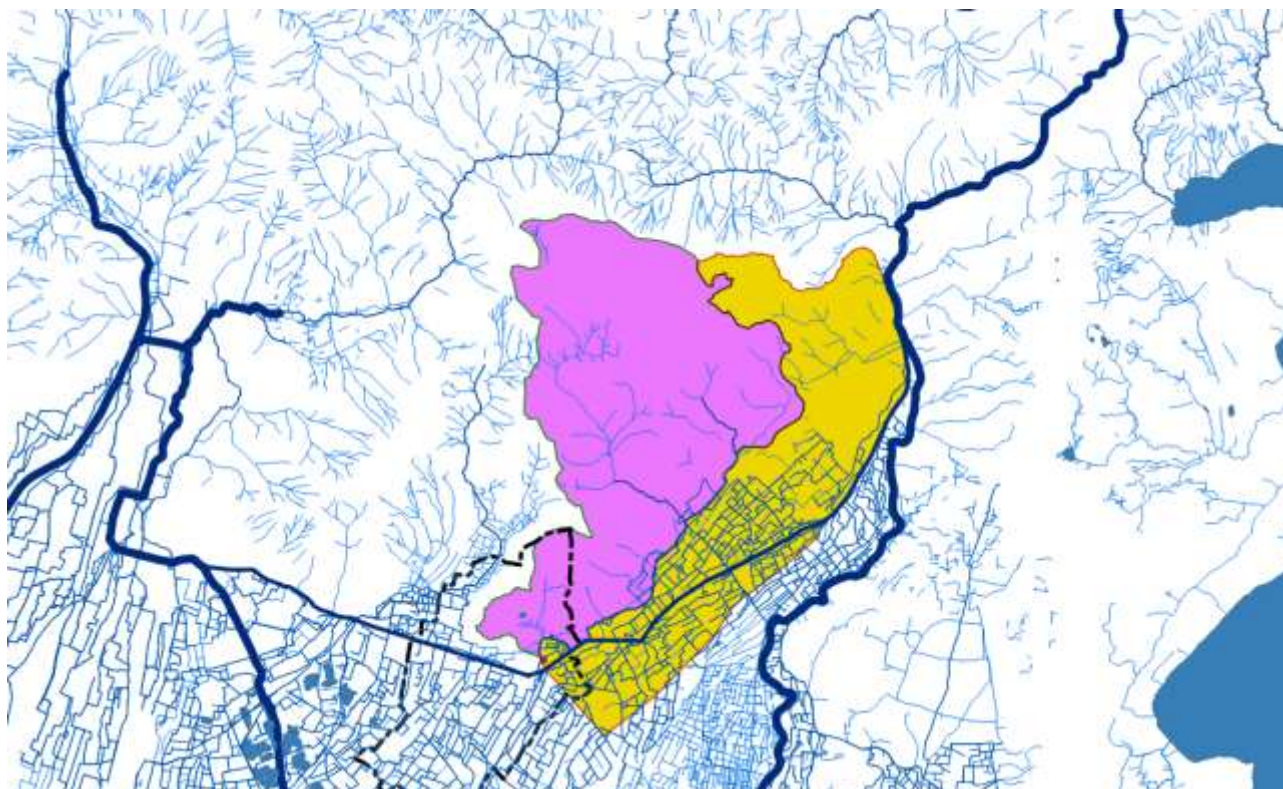


Figura 31 – Perimetrazione dei bacini imbriferi sovrapposti al reticolo idrico

La superficie del bacino del Rio Rudone, evidenziata nella figura a seguire in colore rosso, ha una superficie pari a 38,52 km² (3852 ha).

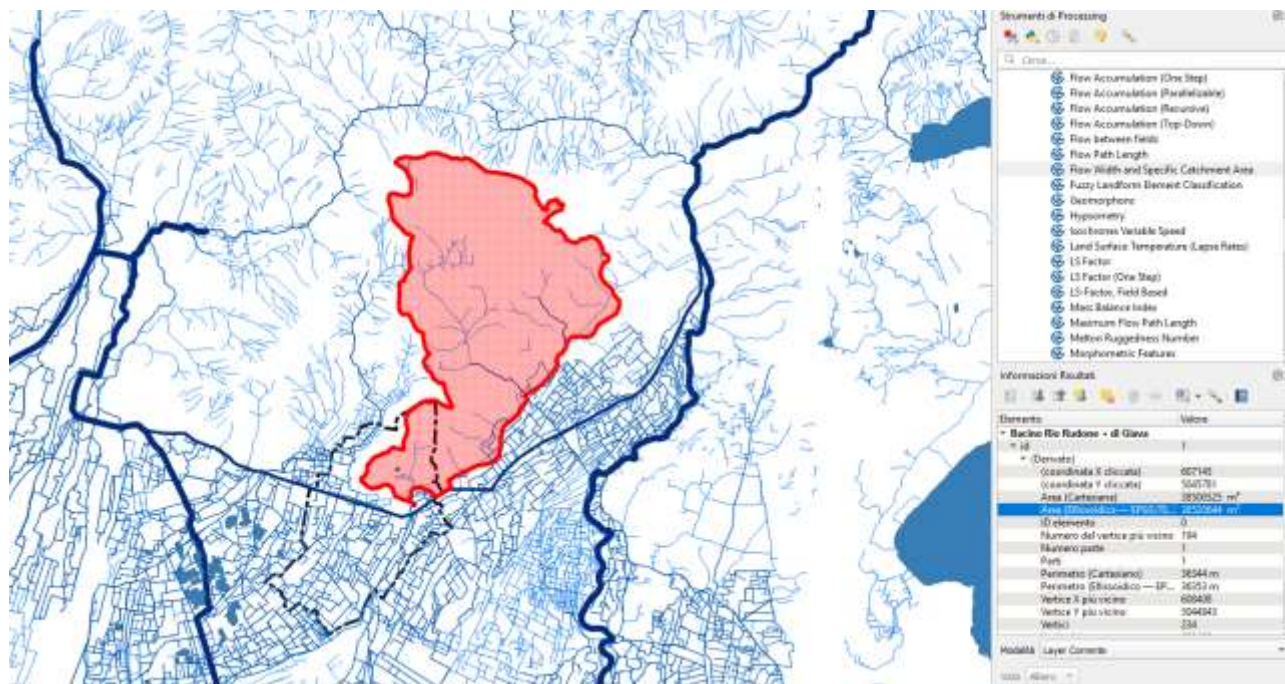


Figura 32 – Perimetrazione del bacino imbrifero del Rio Rudone sovrapposto al reticolo idrico

La superficie del bacino del canale Naviglio Grande Bresciano, evidenziata nella figura a seguire in colore rosso, ha una superficie pari a 29,15 km² (2915 ha).

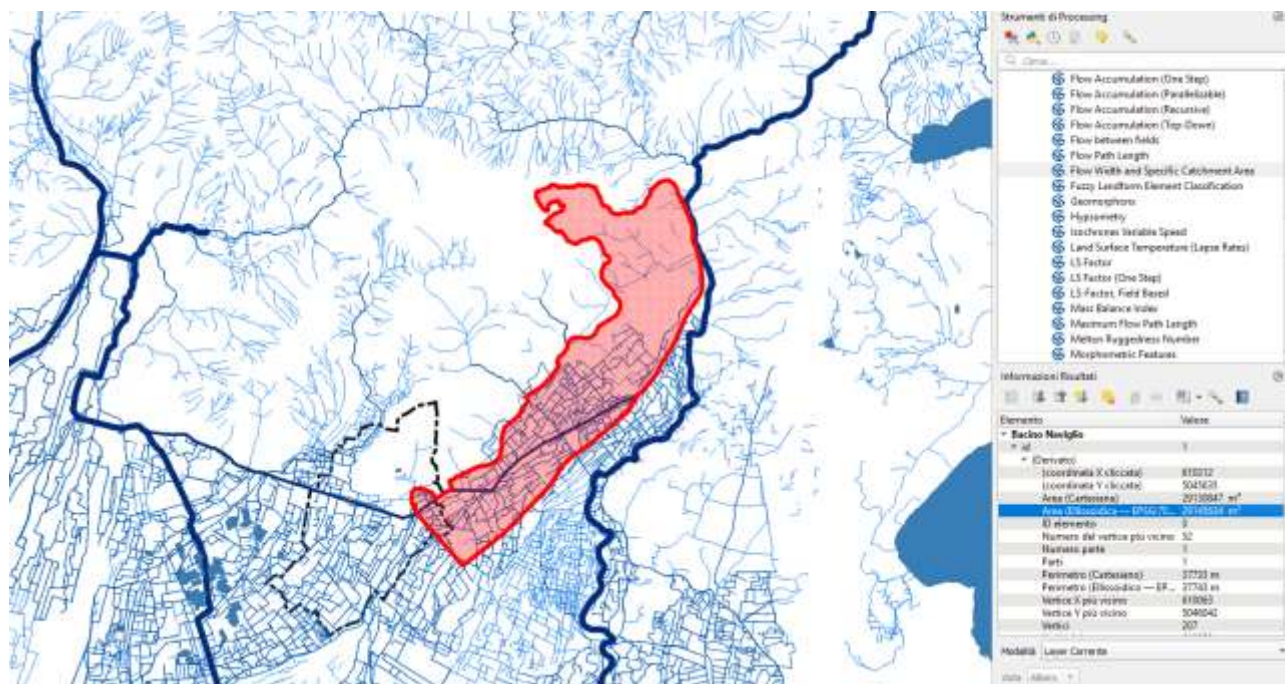


Figura 33 – Perimetrazione del bacino imbrifero del naviglio Grande Bresciano sovrapposto al reticolo idrico

6.3. RIO RUDONE

6.3.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio naturale è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame. Esso varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

Il tempo di corrivazione t_c , espresso in ore, si determina essenzialmente con l'utilizzo di diverse formule empiriche, quelle valutate in questa sede sono:

Formula di Giandotti
$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (Q_{med} - Q_{min})^{0.5}} = 7,37 \text{ ore}$$

Formula di Pezzoli
$$t_c = \frac{0.055 \cdot L}{\sqrt{i_a}} = 10,40 \text{ ore}$$

Formula di Puglisi
$$t_c = \frac{6 \cdot \sqrt[3]{L^2}}{\sqrt[3]{Q_{max} - Q_{min}}} = 7,61 \text{ ore}$$

Formula di Ventura
$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_a}} = 8,52 \text{ ore}$$

Formula di Pasini
$$t_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_a}} = 10,23 \text{ ore}$$

Sulla base dei risultati ottenuti, mediando ed operando a favore di sicurezza, si assume un tempo di corrivazione pari a 7 ore.

6.3.2. CURVA AREE-TEMPI

Del bacino definito ai punti precedenti, al fine di operare il modello di trasformazione afflussi-deflussi, si è determinata la curva aree-tempi illustrata a seguire.

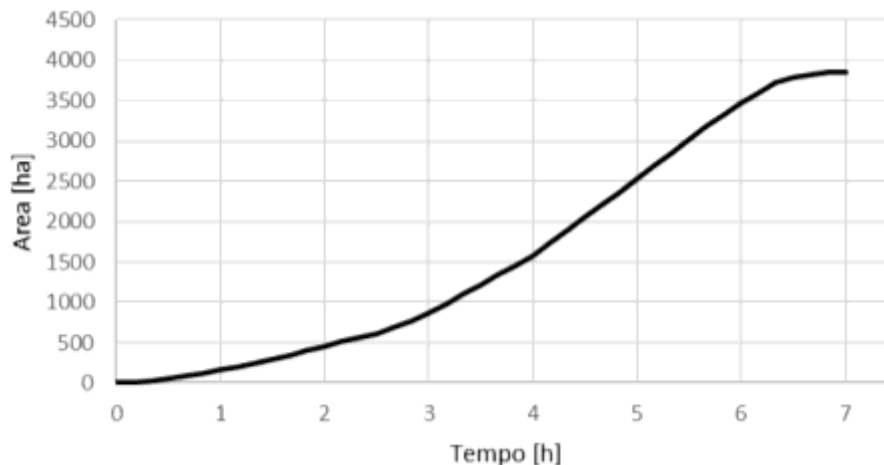


Figura 34 – Curva aree-tempi del bacino del Rio Rudone per la sezione di chiusura valutata

6.3.3. IDROGRAMMA DI PIENA

Per la costruzione dello idrogramma netto le perdite idrologiche sono state considerate, in modo globale, attraverso il coefficiente di deflusso $\varphi = 0,10$.

La trasformazione afflussi-deflussi, applicata alla curva aree-tempi illustrata, determina il seguente idrogramma di piena relativo al contributo della rete di drenaggio naturale posta a monte della sezione di chiusura valutata. La portata di picco è pari a $18,82 \text{ m}^3/\text{s}$.

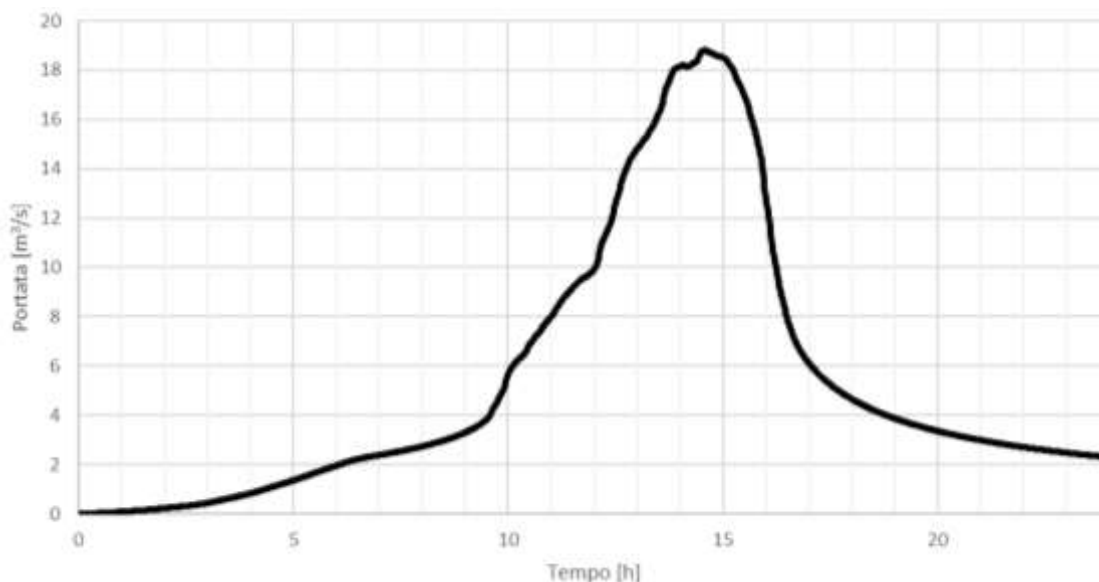


Figura 35 – Idrogramma di piena del Rio Rudone alla sezione di chiusura valutata per contributo del bacino naturale

6.4. NAVIGLIO GRANDE BRESCIANO

Si premette che il Naviglio Grande Bresciano è un corpo idrico connotato da una apprezzabile complessità, in considerazione del sistema di regolazione dei livelli idrici (gestiti dal Consorzio di Bonifica del Chiese), del fatto che esso è collegato a un insieme di vasi derivatori e scaricatori e della notevole estensione del bacino da analizzare. In particolare, si è fatto riferimento agli studi pregressi svolti dallo scrivente nell'ambito dei progetti definitivi ed esecutivi relativi alla realizzazione di due attraversamenti ciclopedonali sul Naviglio e localizzati presso l'“Oasi del Pescatore” in comune di Mazzano, per i quali si erano impiegate anche indicazioni fornite dal Consorzio di Bonifica del Chiese.

Nello specifico la portata di riferimento è determinata come somma di quella derivata dal fiume Chiese, di quella proveniente dagli abitati di Gavardo e Nuvolera e del contributo proveniente dal drenaggio del bacino imbrifero.

La portata proveniente dagli abitati di Gavardo e Nuvolera è, complessivamente, pari a $17 \text{ m}^3/\text{s}$ per eventi con tempo di ritorno pari a 10 anni.

La portata derivata dal fiume Chiese, secondo indicazioni del Consorzio, è pari, alla bocca, a $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

A seguire si riporta il dettaglio del calcolo dell'idrogramma relativo a ciascun contributo e dell'idrogramma di piena complessivo.

6.4.1. PORTATE IRRIGUE

Le portate irrigue transitanti, secondo le indicazioni fornite dal “Consorzio di Bonifica Chiese” sono pari a $15 \text{ m}^3/\text{s}$ ed invarianti rispetto al tempo di ritorno dell'evento meteorico. In tale sede si considera la portata irrigua interamente transitante nel tratto oggetto di indagine nell'ipotesi che non siano effettuati prelievi a monte.

$$Q_{irr} = 15,00 \text{ m}^3/\text{s}$$

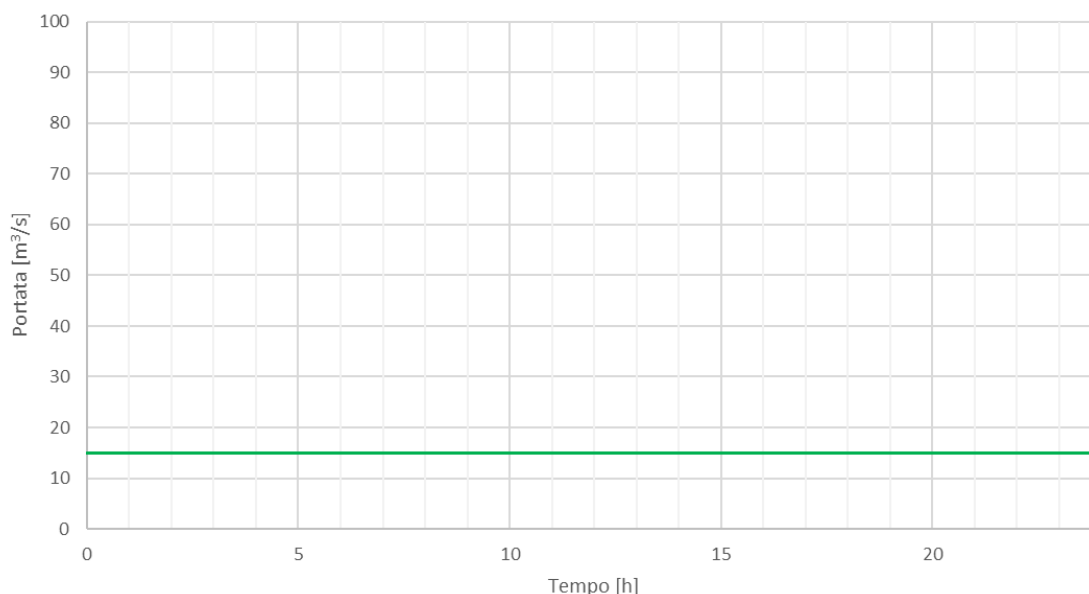


Figura 36 – Idrogramma di piena del Naviglio Grande Bresciano alla sezione di chiusura valutata per contributo della derivazione a uso irriguo dal fiume Chiese

6.4.2. PORTATE DEGLI ABITATI

La portata proveniente dagli abitati di Gavardo e Nuvolera, pari in totale a 17 m³/s, è riferita a eventi con tempo di ritorno pari a 10 anni. Per il calcolo delle portate riferite a eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni si procede a calcolare un opportuno coefficiente moltiplicativo, ricavato dal rapporto tra i fattori w_T utilizzati per il calcolo dell'altezza di pioggia per i due assegnati tempi di ritorno.

Essendo la legge di pioggia:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

Dove w_T è:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

Si ricava:

$$c_m = \frac{h_{100}(D)}{h_{10}(D)} = \frac{a_1 w_{100} D^n}{a_1 w_{10} D^n} = \frac{w_{100}}{w_{10}} = \frac{\varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}}{\varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}} = 1,489$$

Si ha quindi:

$$Q_{ab,Tr10} = 17 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{ab,Tr100} = Q_{ab,Tr10} \cdot c_m = 17 \cdot 1,489 = 25,31 \text{ m}^3/\text{s}$$

Tale portata complessiva è, quindi, suddivisa tra i due abitati e le singole portate di picco sono conferite alla sezione di chiusura con un ritardo determinato in funzione del rispettivo tempo di corrivazione.

$$Q_{Gavardo,Tr100} = 18,20 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$Q_{Nuvolera,Tr100} = 7,12 \text{ m}^3/\text{s}$$

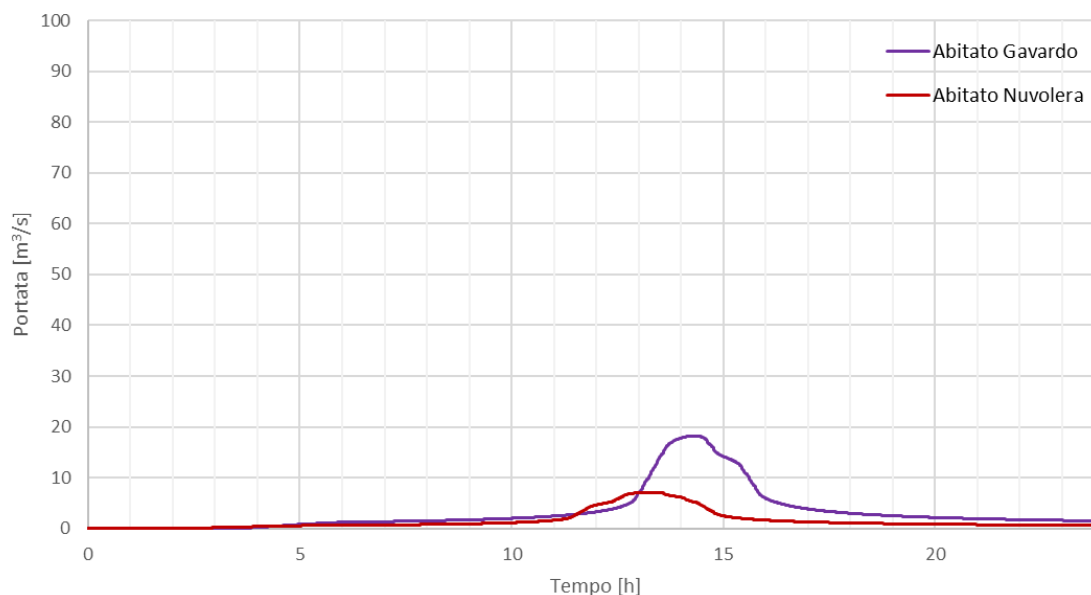


Figura 37 – Idrogramma di piena del Naviglio Grande Bresciano alla sezione di chiusura valutata per contributo degli abitati di Gavardo e Nuvolera

6.4.3. PORTATA METEORICA

6.4.3.1. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione t_c , espresso in ore, si determina essenzialmente con l'utilizzo di diverse formule empiriche, quelle valutate in questa sede sono:

Formula di Giandotti
$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (Q_{\text{med}} - Q_{\text{min}})^{0.5}} = 5,43 \text{ ore}$$

Formula di Pezzoli
$$t_c = \frac{0.055 \cdot L}{\sqrt{i_a}} = 8,40 \text{ ore}$$

Formula di Puglisi
$$t_c = \frac{6 \cdot \sqrt[3]{L^2}}{\sqrt[3]{Q_{\text{max}} - Q_{\text{min}}}} = 6,54 \text{ ore}$$

Formula di Ventura
$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_a}} = 5,83 \text{ ore}$$

Formula di Pasini
$$t_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_a}} = 7,39 \text{ ore}$$

Sulla base dei risultati ottenuti, mediando ed operando a favore di sicurezza, si assume un tempo di corrivazione pari a **6 ore**.

6.4.3.2. CURVA AREE-TEMPI

Del bacino definito ai punti precedenti, al fine di operare il modello di trasformazione afflussi-deflussi, si è determinata la curva aree-tempi illustrata a seguire.

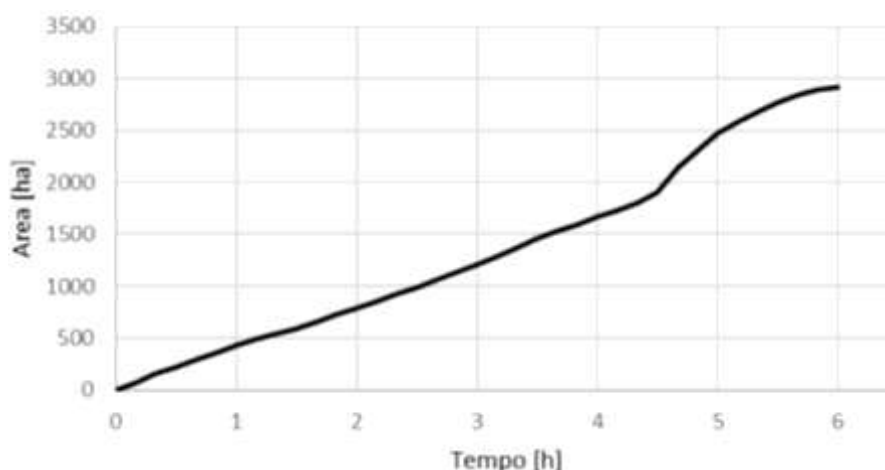


Figura 38 – Curva aree-tempi del bacino del canale Naviglio Grande Bresciano per la sezione di chiusura valutata

6.4.3.3. IDROGRAMMA DI PIENA

Per la costruzione dello ietogramma netto le perdite idrologiche sono state considerate, in modo globale, attraverso il coefficiente di deflusso $\varphi = 0,25$.

La trasformazione afflussi-deflussi, applicata alla curva aree-tempi illustrata, determina il seguente idrogramma di piena relativo al contributo della rete di drenaggio naturale posta a monte della sezione di chiusura valutata. La portata di picco è pari a $42,52 \text{ m}^3/\text{s}$.

$$Q_{met,Tr100} = 42,52 \text{ m}^3/\text{s}$$

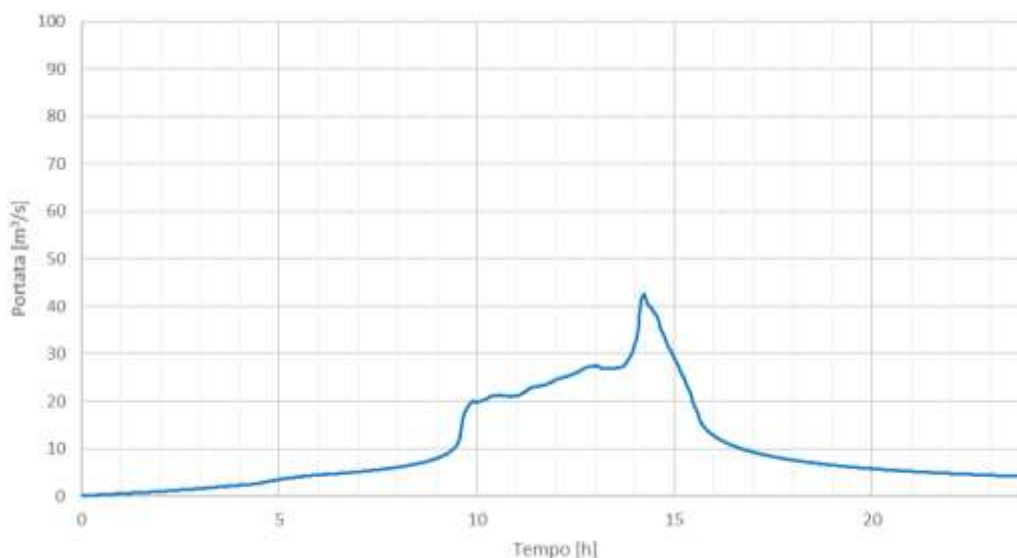


Figura 39 – Idrogramma di piena del Naviglio Grande Bresciano alla sezione di chiusura valutata per contributo del bacino naturale

6.4.4. PORTATE COMPLESSIVE

La portata complessiva transitante nel Naviglio Grande Bresciano, determinata come somma delle portate definite ai punti precedenti, risulta pari a $81,07 \text{ m}^3/\text{s}$ distribuiti temporalmente secondo il seguente idrogramma di piena.

$$Q_{Tr100} = 81,07 \text{ m}^3/\text{s}$$

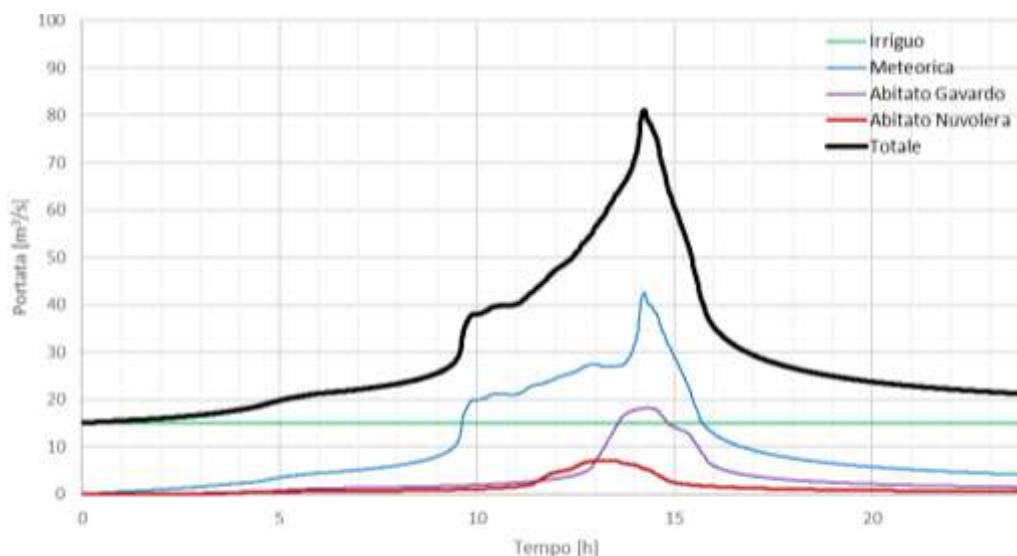


Figura 40 – Idrogramma di piena del Naviglio Grande Bresciano alla sezione di chiusura

7. MODELLO DELL'AREA OGGETTO DI VERIFICA

7.1. PREMESSE

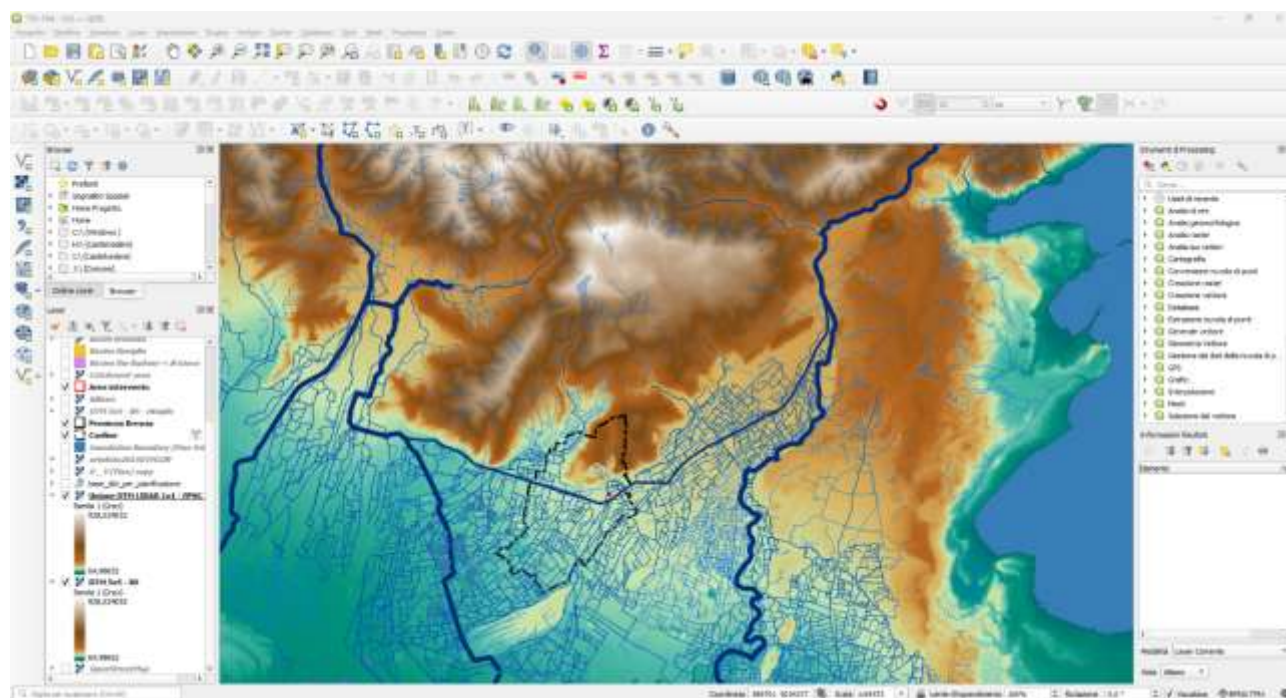
Ai fini dell'esecuzione delle verifiche è stato utilizzato il modello digitale "DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015)" di Regione Lombardia integrato, per le aree in cui disponibile, dal modello digitale "DTM 1x1 da LiDAR del Rilievo PST Min. Ambiente".

Le quote del DTM (identificate come "pixel value" sulla mappa) sono riferite al terreno sia in ambiti urbanizzati sia in ambiti extra-urbani.

Il dato è georeferenziato nel sistema di riferimento WGS84/UTM32 ed è stato trattato con software GIS (QGIS versione 3.34.1-Prizren) per la successiva conversione in formato GeoTIFF.

Tali dati sono stati quindi importati e processati con HEC-RAS Mapper v.2.0.0.0 per la modellazione.

L'analisi è stata eseguita con il software HEC-RAS River Analysis System versione 6.6 sviluppato dall' USACE (U.S. Army Corps of Engineers) – Hydrologic Engineering Center – 609 Second Street, Davis CA 95616 – <https://www.hec.usace.army.mil>



*Figura 41 – “DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015)” di Regione Lombardia
e “DTM 1x1 da LiDAR del Rilievo PST Min. Ambiente”
Elaborazione in QGIS v.3.34.1-Prizren*

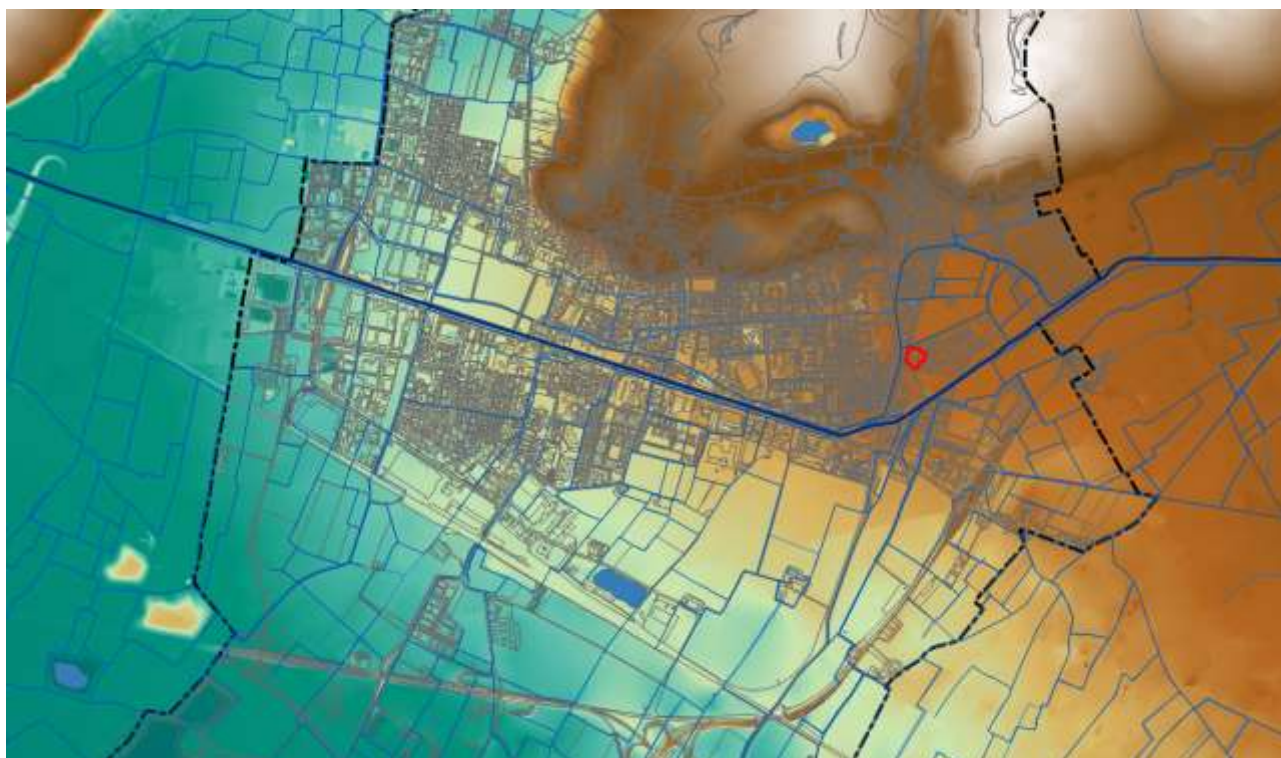


Figura 42 – “DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015)” di Regione Lombardia sovrapposto al Database Topografico

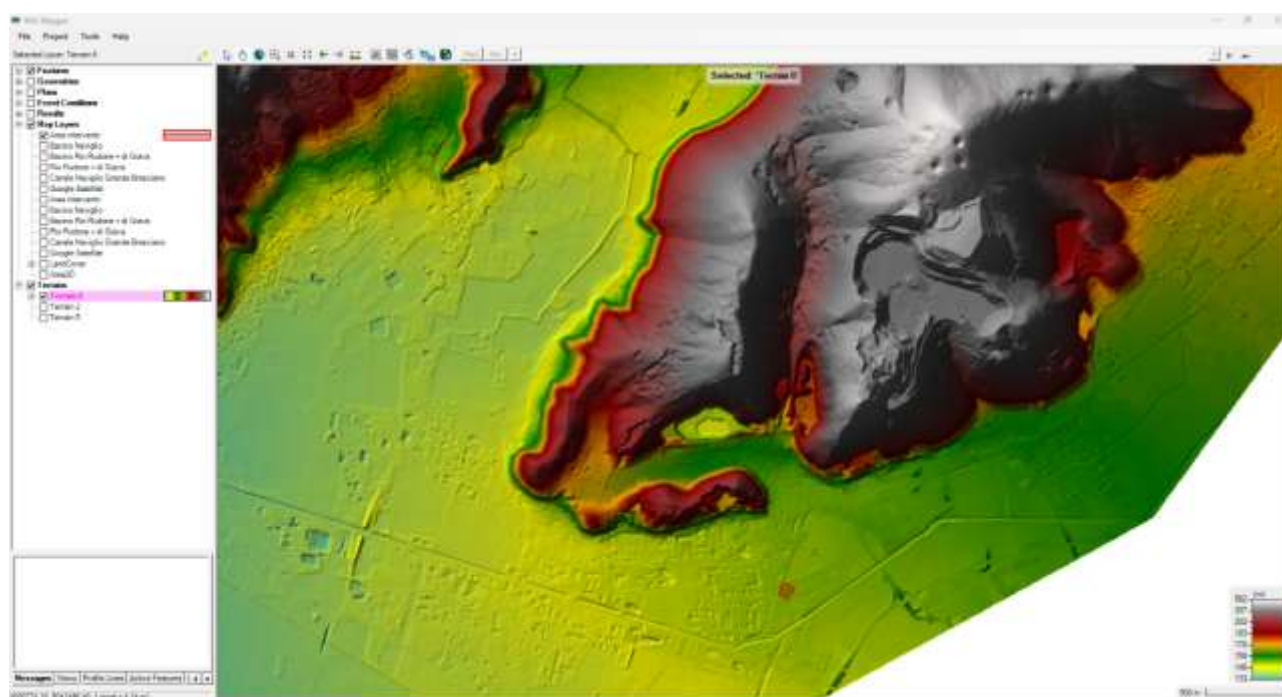


Figura 43 – Modello digitale del terreno – Importazione in RAS Mapper

7.2. MODELLO IDRAULICO

7.2.1. GENERALITÀ

Per la modellazione idraulica è stato impiegato HEC-RAS Mapper in abbinamento agli strumenti di modellazione geometrica propri di HEC-RAS. Sinteticamente, la procedura seguita è la seguente:

- Definizione del sistema di coordinate e della relativa proiezione, al fine di operare in un sistema georeferenziato, attraverso l'assegnazione di uno shapefile ESRI.

In particolare, si è adottato il sistema di riferimento
RDN2008_UTM_zone_32N – EPSG:7791

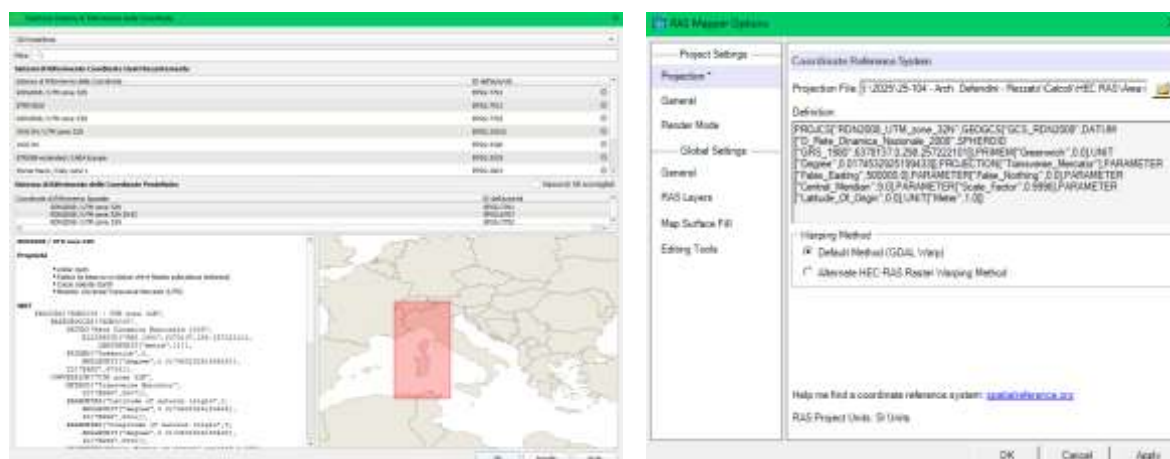


Figura 44 – Definizione del sistema di riferimento e della proiezione

- Definizione del modello di terreno in RAS Mapper tramite importazione del DTM 5x5 – Modello digitale del terreno (ed. 2015) di Regione Lombardia unito al “DTM 1x1 da LiDAR del Rilievo PST Min. Ambiente”, pretrattato ed esportato da QGIS. Il modello del terreno è un requisito per la modellazione 2D, in quanto è utilizzato per stabilire la geometria e le proprietà idrauliche delle celle 2D e delle facce delle celle. Il modello di terreno è anche necessario per eseguire la mappatura dell'inondazione.
- Creazione dell'insieme di dati di classificazione del territorio all'interno di HEC-RAS Mapper al fine di stabilire i valori n di Manning all'interno delle aree di flusso 2D.
- Aggiunta dei livelli di mappatura aggiuntivi necessari per migliorare la visualizzazione: fotografia aerea e perimetro delle aree di ampliamento.
- Definizione del poligono di contorno per ciascuna delle aree di flusso da modellare.
- Definizione delle aree di infittimento della mesh per le aree di flusso 2D che necessitano di risultati di simulazione più precisi (aree oggetto di indagine e immediato intorno) o che necessitano di celle di dimensione ridotta al fine di migliorare la convergenza del calcolo iterativo non-lineare.
- Disposizione delle eventuali linee di discontinuità all'interno dell'area di flusso 2D per rappresentare barriere significative al flusso quali argini, strade, strutture idrauliche, etc.
- Creazione della mesh di calcolo 2D per ogni area di flusso modellata.
- Verifica della mesh generata e sua eventuale modifica, ottimizzazione o ulteriore affinamento locale.
- Esecuzione del preprocessore geometrico 2D per la creazione delle celle e delle tabelle delle proprietà idrauliche di ciascuna cella.

- Eventuale definizione dei corsi d'acqua tramite inserimento degli elementi lineari necessari alla loro definizione: linee d'asse, linee di bordo del canale ed eventuali golene, sezioni trasversali.
- Definizione degli elementi lineari di bordo delle aree di flusso 2D necessari alla modellazione dei collegamenti e delle condizioni al contorno.
- Collegamento delle aree di flusso 2D agli eventuali elementi idraulici 1D (tratti fluviali, strutture laterali, eventuali aree di stoccaggio/raccordi idraulici, aree di flusso 2D).
- Inserimento dei dati necessari a definire gli elementi lineari di bordo delle aree di flusso 2D.
- Inserimento dei dati necessari a definire tutte le condizioni al contorno e tutte le condizioni iniziali per la simulazione: idrogrammi in ingresso, cadenti piezometriche, battenti idraulici...
- Impostazione dei parametri del solutore non lineare ed esecuzione dell'analisi.
- Verifica ed esportazione dei risultati.

7.2.2. DEFINIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO

A seguire si riporta, sinteticamente ed in forma grafica, il modello idraulico realizzato per la simulazione. L'area valutata come inondabile è stata modellata come "2D Flow Area".

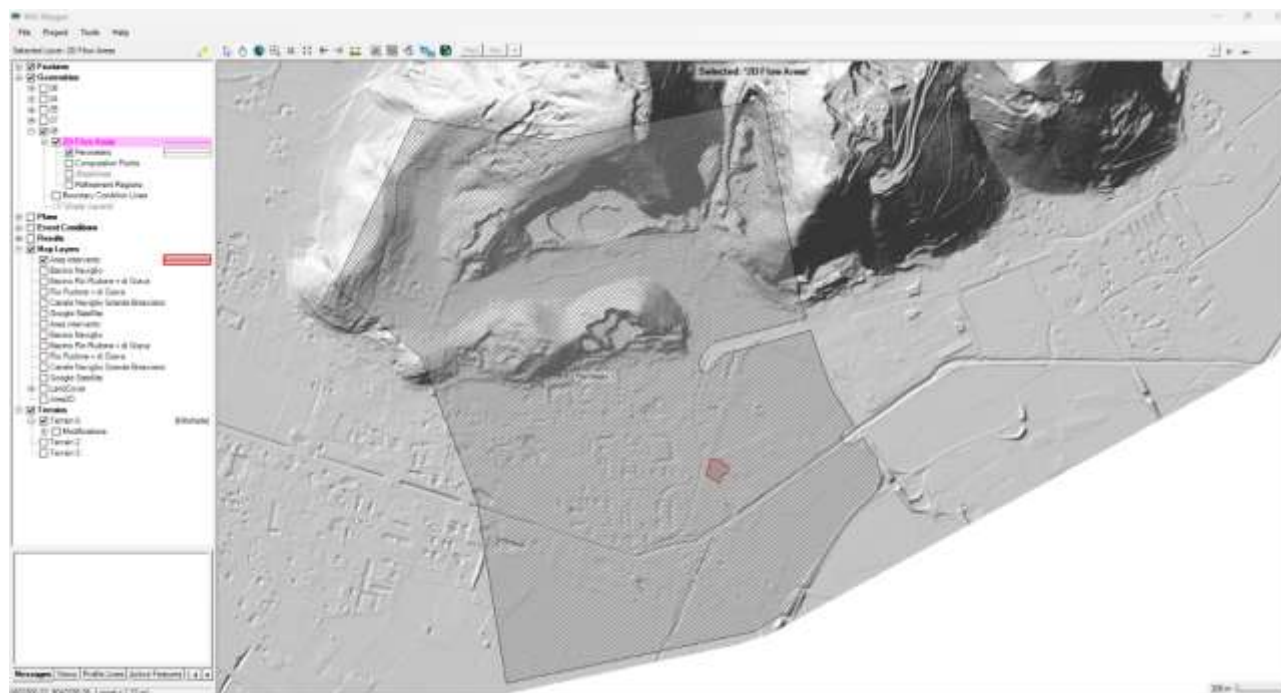


Figura 45 – Modello idraulico - Aree di flusso 2D

Per le porzioni di area di flusso dove è maggiore la portata, per l'alveo dei corsi d'acqua e relative sponde / argini, dove si verificano le maggiori variazioni localizzate delle grandezze oggetto di studio e per l'area propriamente oggetto di analisi, si è infittita la mesh dell'area di flusso, al fine di avere risultati più rappresentativi e rendere più agevole la convergenza del solutore.

L'infittimento è stato ottenuto mediante l'inserimento nel modello di un elemento "Refinement Regions" che forza il software a infittire il passo della mesh.

In particolare, la maglia della mesh è stata impostata a 40 metri e la maglia per l'area di infittimento è stata impostata a 3 metri. La mesh risultante è composta da 38131 celle.

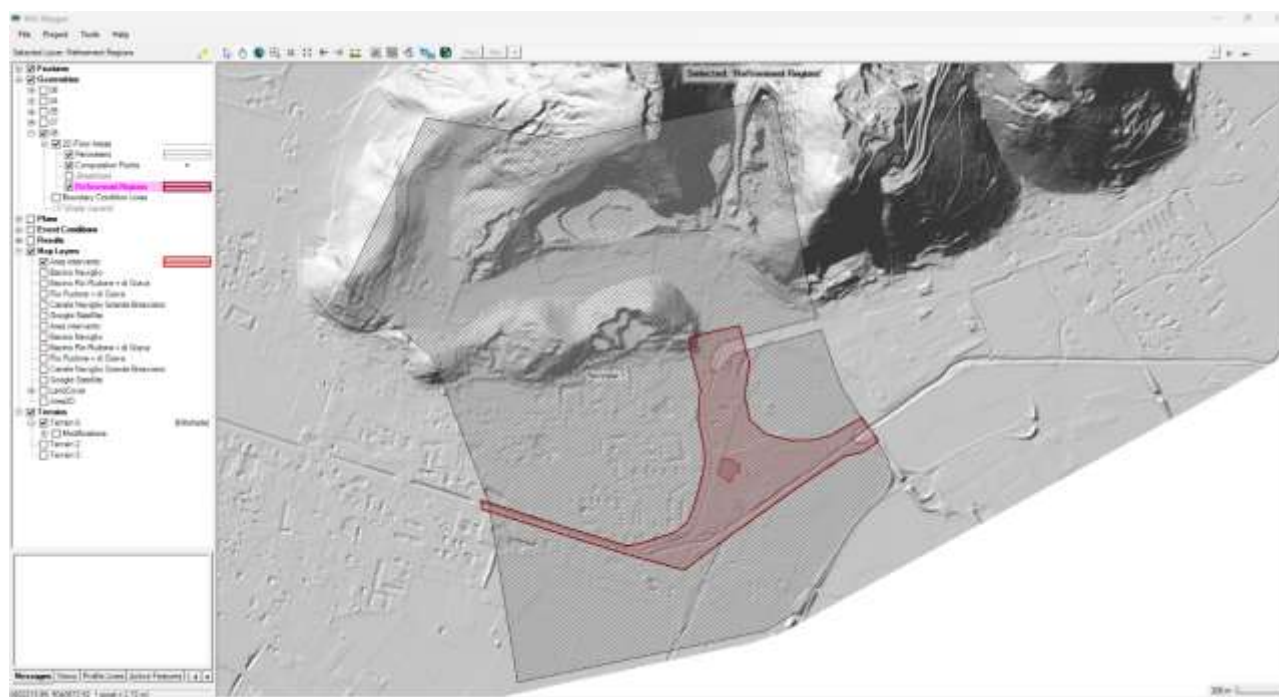


Figura 46 – Modello idraulico – Area di inondazione

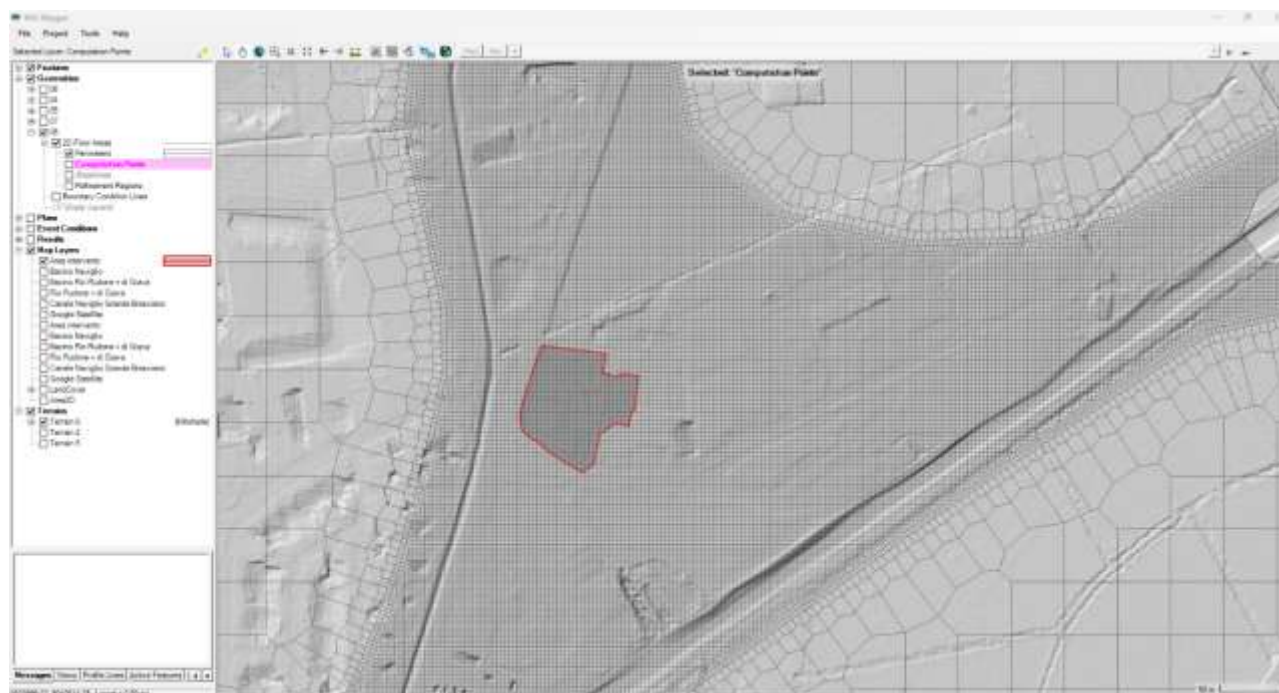


Figura 47 – Modello idraulico – Dettaglio della mesh generata

Le condizioni al contorno per l'area modellata come inondabile sono le seguenti:

- Sui lati nord e ovest, a nord del Naviglio stati inseriti elementi lineari definiti come Boundary Condition “nord”;
- Sui lati sud e ovest, a ovest del Naviglio stati inseriti elementi lineari definiti come Boundary Condition “sud”.

Per esse, considerato che l'area allagabile deve essere considerata come illimitatamente estesa verso valle, e considerato che la portata esondata e transitante sul terreno si trova certamente in condizioni di corrente lenta, è stata assegnata la condizione al contorno di tipo "Normal Depth Downstream Boundary" ovvero una condizione che permette l'uscita dell'acqua dall'area della mesh e, al fine di determinarne il tirante idrico, impone la cadente che, in condizioni di corrente lenta (governata da valle), è condizione sufficiente alla risoluzione del problema idraulico.

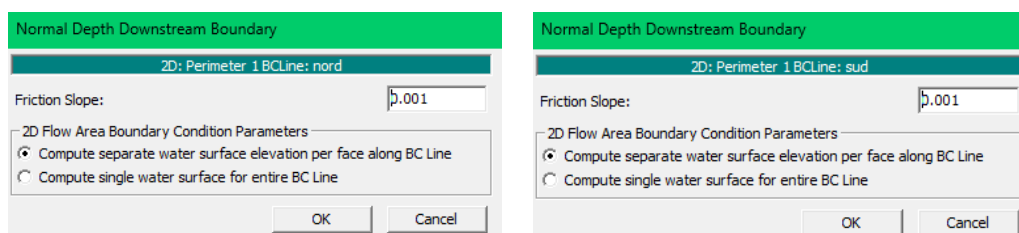


Figura 48 – Condizioni al contorno "Normal Depth Downstream Boundary"



Figura 49 – Modello idraulico – condizioni al contorno per l'area di flusso 2D

In aggiunta alle condizioni al contorno sopra descritte, al fine dell'esecuzione dell'analisi sono state definite anche le condizioni al contorno per i corsi d'acqua:

- Per la sezione di ingresso del canale Naviglio Grande Bresciano nell'area di flusso 2D è stato inserito un elemento lineare definito come Boundary Condition "Naviglio monte";
- Per la sezione di ingresso del Rio Rudone nell'area di flusso 2D è stato inserito un elemento lineare definito come Boundary Condition "Rudone monte";
- Per la sezione di uscita del canale Naviglio Grande Bresciano dall'area di flusso 2D è stato inserito un elemento lineare definito come Boundary Condition "Naviglio valle".

Per le sezioni di ingresso del Naviglio e del Rudone è stata assegnata come condizione al contorno l'idrogramma entrante nella sezione di monte: condizione "Flow Hydrograph" definita secondo quanto esposto al capitolo 6.

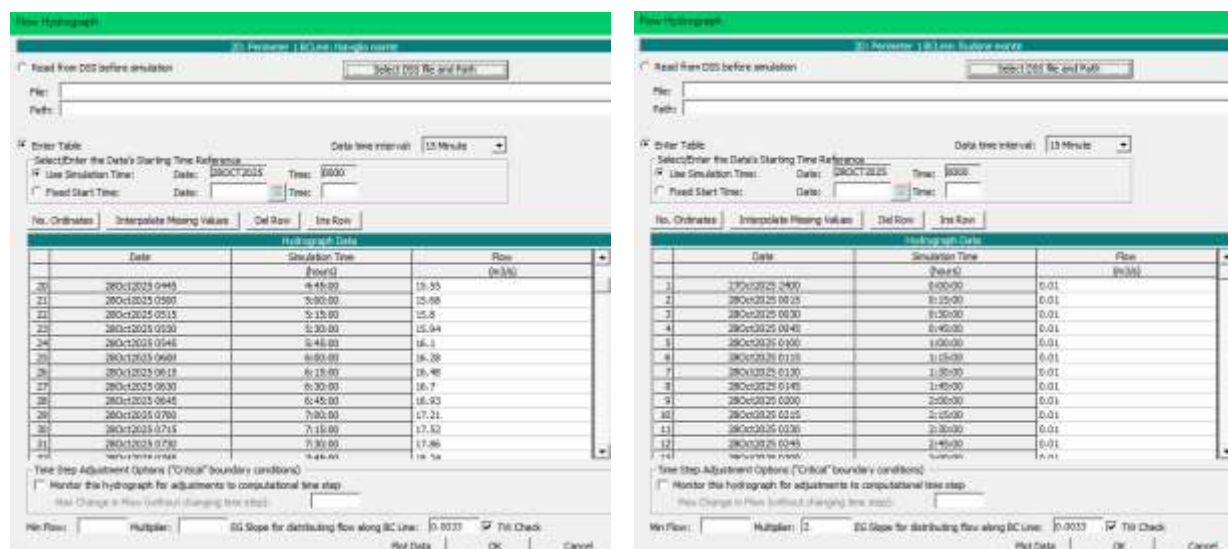


Figura 50 – Condizioni al contorno “Flow Hydrograph” per il Naviglio e il Rudone

Per la sezione di uscita del Naviglio dall’area di flusso 2D è stata assegnata la condizione al contorno di tipo “Normal Depth Downstream Boundary” ovvero una condizione che permette l’uscita dell’acqua dall’area della mesh e, al fine di determinarne il tirante idrico, impone la cadente che, in condizioni di corrente lenta (governata da valle), è condizione sufficiente alla risoluzione del problema idraulico. La cadente assegnata è stata definita in funzione della pendenza media dell’alveo.

Normal Depth Downstream Boundary

2D: Perimeter 1 BCLine: Naviglio valle

Friction Slope: 0.0033

2D Flow Area Boundary Condition Parameters

☒ Compute separate water surface elevation per face along BC Line

☐ Compute single water surface for entire BC Line

OK Cancel

Figura 51 – Condizione al contorno “Normal Depth Downstream Boundary” per la sezione di uscita del Naviglio

A seguire si riporta riepilogo di tutte le condizioni al contorno assegnate.

Unsteady Flow Data - OB Unsteady

File Options Help

Description: Apply Data

Boundary Conditions Initial Conditions Meteorological Data Observed Data

Boundary Condition Types

Stage Hydrograph Flow Hydrograph Stage/Flow Hydro Rating Curve

Normal Depth Lateral Inflow Hydro Uniform Lateral Inflow Groundwater Interflow

1-D Gate Opening Elev Controlled Gates Navigation Data 1D 2D Pipe Flow

Rules Precipitation

Add Boundary Condition Location

Add RS ... Add SA/2D Flow Area ... Add Conn ... Add Point Structure Add Flow Node ...

Select Location in table when select Boundary Condition Type

River	Reach	RS	Boundary Condition
Storage/2D Flow Areas			
1	Perimeter 1	BCLine: Naviglio monte	Flow Hydrograph
2	Perimeter 1	BCLine: Rudone monte	Flow Hydrograph
3	Perimeter 1	BCLine: nord	Normal Depth
4	Perimeter 1	BCLine: sud	Normal Depth
5	Perimeter 1	BCLine: Naviglio valle	Normal Depth

Figura 52 – Riepilogo delle condizioni al contorno per l’analisi di flusso con moto non-permanente

A seguire si riporta, infine, lo schema completo del modello idraulico.

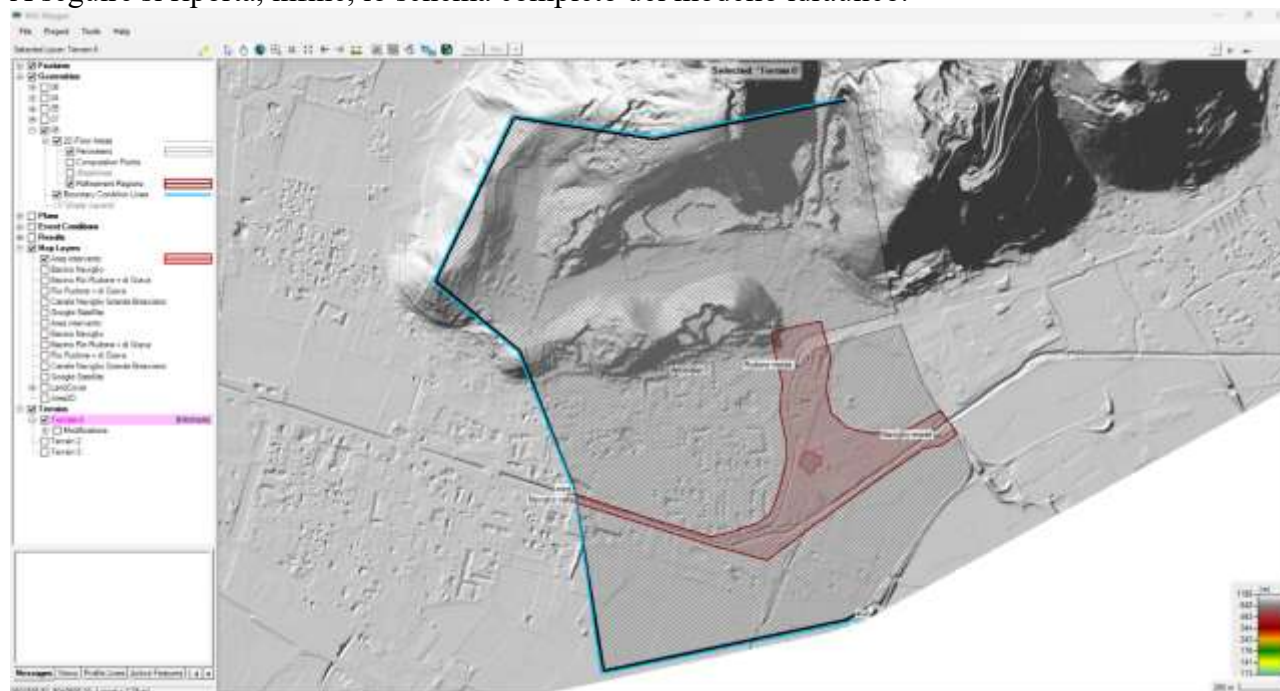


Figura 53 – Modello idraulico completo

La verifica è stata svolta su intervallo temporale di 36 ore, notevolmente maggiore del tempo di corrivazione dei bacini in studio. L'analisi non lineare è stata impostata con passi di calcolo ogni 10 secondi ed esportazione dei risultati ogni 60 secondi per un totale di 12960 passi di simulazione.

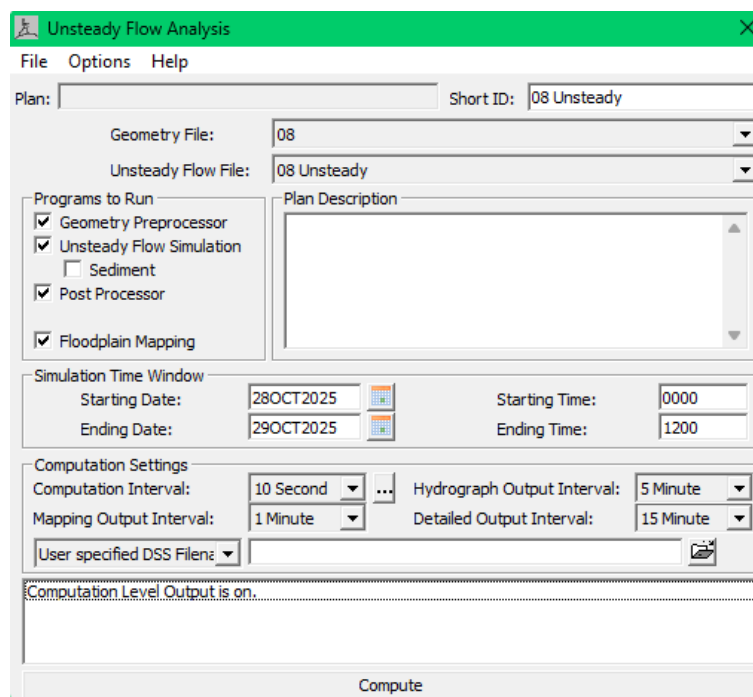


Figura 54 – Impostazione del solutore

8. VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Si procederà alla verifica della compatibilità idraulica dell'intervento facendo riferimento anche ai criteri previsti nella Direttiva "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", approvata con deliberazione 11 maggio 1999, n. 2, del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

Obiettivo della verifica è di quantificare gli effetti prodotti dall'intervento edilizio, nei confronti delle condizioni idrauliche attuali del tratto di corso d'acqua generante il rischio di cui al PGRA.

Come previsto dalla direttiva 11 maggio 1999, l'ampiezza e l'approfondimento delle indagini e delle valutazioni sono stati commisurati all'importanza dell'intervento e alla rilevanza delle interazioni indotte con l'assetto idraulico del corso d'acqua interessato.

A tal riguardo si evidenzia che:

- l'intervento in progetto si sviluppa a consistente distanza dal corso idrico originante il rischio idraulico e non risulta interferente in alcun modo con lo stesso; la valutazione di compatibilità sarà condotta pertanto con riferimento all'impatto dei volumi esondati sulla superficie oggetto di intervento edilizio.
- le reti meteoriche dell'intervento in progetto non recapiteranno in CIS ma disperderanno negli strati superficiali del sottosuolo mediante pozzi perdenti.

Si segnala, inoltre, che non vi sono insediamenti e/o infrastrutture sui corsi d'acqua interessati per i quali vi siano modificazioni dello stato di rischio idraulico conseguenti alla realizzazione dell'intervento.

Infine, secondo la direttiva di riferimento, l'analisi delle caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo va condotta nel caso in cui nell'ambito delle analisi idrauliche si renda necessario effettuare valutazioni sulla capacità di trasporto solido nel tratto interessato e su eventuali fenomeni erosivi locali, in tal caso deve essere prodotta una caratterizzazione del materiale d'alveo mediante analisi granulometriche. Per la situazione specifica oggetto di indagine non si ravvisa la necessità di eseguire valutazioni di approfondimento sul trasporto solido.

8.1. PREMESSA

Lo studio della compatibilità idraulica dell'intervento prevede le seguenti valutazioni:

- calcolo delle portate di piena;
- verifica idraulica delle sezioni trasversali;
- calcolo del limite delle aree inondabili;
- calcolo dell'altezza delle acque di piena;
- calcolo della velocità delle acque di piena.

La presentazione dei risultati avverrà in forma grafica, al fine di garantire maggiore chiarezza e sintesi espositiva.

8.2. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Il calcolo delle portate di piena, per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni è stato eseguito e dettagliatamente descritto al precedente capitolo 6 al quale si rimanda per tutti i dettagli.

8.3. VERIFICA DELLE SEZIONI

Il problema della verifica idraulica delle sezioni si può ricondurre, esplicitando le opportune incognite, alla risoluzione di un'equazione non lineare relativa al moto di pelo libero.

Nelle operazioni di verifica, in aggiunta al calcolo con il software HEC-RAS già citato, sono stati utilizzati anche fogli di calcolo sviluppati in Microsoft Excel, specifici per condotte a pelo libero di sezioni circolari, di sezioni rettangolari e di sezioni trapezie con golene laterali.

8.3.1. SEZIONE CIRCOLARE

Semplici considerazioni geometriche permettono di esprimere la velocità ed il coefficiente di riempimento nelle condotte in funzione del battente idrico.

Posti:

h	battente idrico
R	raggio della sezione circolare
ϕ	angolo al centro

Si ha:

Battente

$$h = R \cdot \left[1 - \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]$$

Area del settore circolare sotteso all'angolo ϕ

$$A_s = \frac{R^2}{2} \cdot \phi$$

Area del triangolo OAB

$$A_T = R^2 \cdot \left[\sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]$$

Area della sezione idrica

$$A = R^2 \cdot \left[\frac{\phi}{2} - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right]$$

Contorno bagnato

$$C = \phi \cdot R$$

Raggio idraulico

$$R_I = \frac{A}{C} = \frac{R}{2 \cdot \phi} \cdot [\phi - \sin(\phi)]$$

Velocità effettiva

$$V = K_S \left[\frac{R}{2 \cdot \phi} \cdot (\phi - \sin(\phi)) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

Portata effettiva

$$Q = R^2 \cdot \left[\frac{\phi}{2} - \sin\left(\frac{\phi}{2}\right) \cdot \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \right] \cdot K_S \left[\frac{R}{2 \cdot \phi} \cdot (\phi - \sin(\phi)) \right]^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

Calcolando gli zeri della funzione ottenuta eguagliando l'equazione della portata effettiva alla Q di progetto, calcolata con la formula di Chezy, si ottengono i valori delle grandezze di verifica:

- velocità effettiva,
- grado di riempimento,
- rapporto tra portata effettiva e portata di massimo riempimento,
- rapporto tra battente effettivo e diametro della condotta.

8.3.2. SEZIONE RETTANGOLARE

Semplici considerazioni geometriche permettono di esprimere la velocità ed il coefficiente di riempimento nelle condotte in funzione del battente idrico.

Posti:

h battente idrico
 b base della sezione rettangolare

Si ha:

Area della sezione idrica

$$A = b \cdot h$$

Contorno bagnato

$$C = b + 2h$$

Raggio idraulico

$$R_I = \frac{A}{C} = \frac{b \cdot h}{b + 2h}$$

Velocità effettiva

$$V = K_S \left(\frac{b \cdot h}{b + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

Portata effettiva

$$Q = b \cdot h \cdot K_S \left(\frac{b \cdot h}{b + 2h} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot i_F^{\frac{1}{2}}$$

Calcolando gli zeri della funzione ottenuta eguagliando l'equazione della portata effettiva alla Q di progetto, calcolata con la formula di Chezy, si ottengono i valori delle grandezze di verifica:

- velocità effettiva,
- grado di riempimento,
- rapporto tra portata effettiva e portata di massimo riempimento,
- rapporto tra battente effettivo e altezza del canale.

8.3.3. SEZIONE TRAPEZIA CON GOLENE LATERALI

Per le sezioni caratterizzate dalla presenza di sponde variamente inclinate e di golene laterali si è sviluppato uno specifico foglio di calcolo mediante il quale eseguire le verifiche idrauliche.

Il foglio di calcolo è strutturato in modo da poter calcolare sezioni schematizzabili con massimo 8 punti significativi (e quindi con sette sotto-aree) quali sono i canali a sezione trapezia con golene laterali e sponde inclinate.

A seguire, a titolo di esempio, si riportano alcune sezioni schematizzabili con il foglio di calcolo.

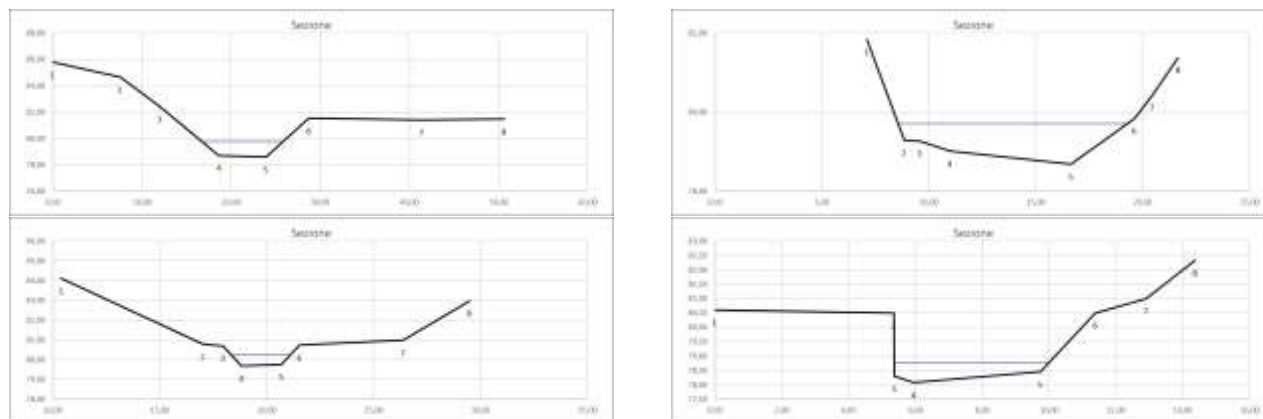


Figura 55 – Esempi di sezioni schematizzabili

L'input della sezione avviene mediante l'inserimento delle coordinate degli otto punti caratteristici, come desunti dalle sezioni trasversali:

Sezione			
punto	x	z	
1	6,10	83,04	
2	12,28	83,18	
3	14,73	82,93	
4	21,70	78,45	
5	27,01	78,82	
6	31,93	81,40	
7	42,30	81,33	
8	76,71	81,62	

Tabella 3 – Griglia di input della sezione

La sezione risultante è riportata in un grafico apposito.

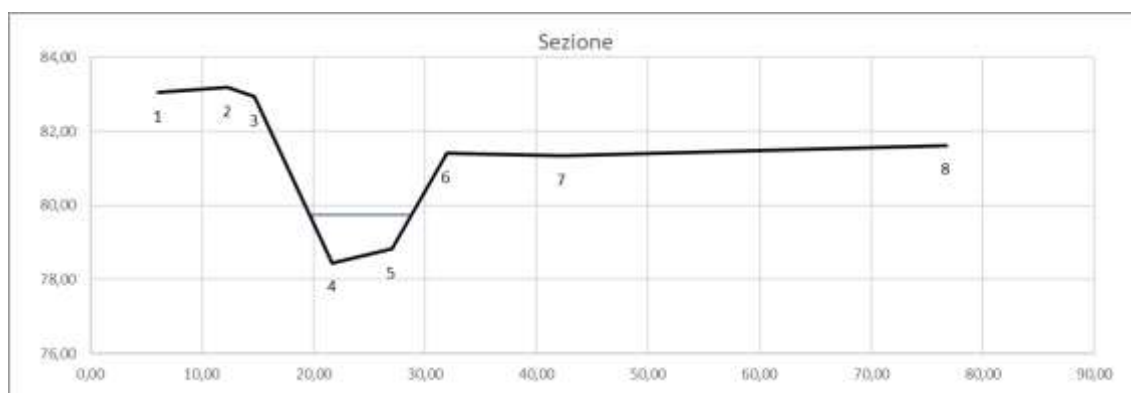


Figura 56 – Sezione corrispondente ai dati inseriti

Il foglio di calcolo, per ciascuna sottosezione, determina, in funzione di h “battente idrico”:

- b_i base
- Δz_i dislivello tra i due punti di estremo
- l_i lunghezza inclinata del tratto
- b_i/z_i inclinazione del tratto
- α_i angolo rispetto all’orizzontale
- $h_{w,sx}$ altezza idrica sul punto di sinistra del tratto
- $h_{w,dx}$ altezza idrica sul punto di sinistra del tratto
- b_{bag} base “bagnata” del tratto di sezione
- b_{pelo_lib} larghezza del pelo libero nel tratto di sezione
- A_w area idrica del tratto di sezione

	b_i	Δz_i	l_i	b_i/z_i	α_i	h_w	$h_{w,sx}$	$h_{w,dx}$	b_{bag}	b_{pelo_lib}	A_w
1	0,01	-0,01	0,01	-1,00	-45,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	3,72	-2,93	4,74	-1,27	-38,23	1,04	0,00	1,04	1,68	1,32	0,68
3	5,24	0,07	5,24	74,86	0,77	1,04	1,04	0,97	5,24	5,24	5,25
4	5,37	2,90	6,10	1,85	28,37	0,97	0,97	0,00	2,03	1,79	0,87
5	1,09	-0,04	1,09	-27,25	-2,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6	2,15	-0,02	2,15	-107,50	-0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
7	0,02	0,01	0,02	2,00	26,57	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabella 4 – Tabella di calcolo delle caratteristiche delle sotto-sezioni

Si inseriscono, quindi, i parametri per la verifica della sezione:

- portata di progetto
- pendenza del canale
- materiale costituente il fondo e le sponde del canale
- coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler

Verifica canale a pelo libero

DATI		u.m.
Portata	5,961	[m ³ /s]
Pendenza	0,0906	%
Materiale	vegetazione	-
Coeff. Strickler	35	[m ^{1/3} /s]

Tabella 5 – Tabella dei parametri per la verifica della sezione

Una volta completato l’input dei dati, una macro, attivata da apposito pulsante presente nel foglio di calcolo, esegue il calcolo iterativo per la determinazione del battente idrico che uguaglia la portata di calcolo alla portata di progetto.

Per eseguire la verifica, per ciascuna iterazione del calcolo, la tabella calcola:

- il tirante idrico massimo presente nella sezione
- l’ascissa del punto di estremità sinistro del pelo libero
- l’ascissa del punto di estremità destro del pelo libero
- la larghezza del pelo libero
- l’area idrica totale (come somma delle sotto-sezioni)
- il perimetro bagnato totale (come somma dei contorni banati delle sotto-sezioni)
- il raggio idraulico
- la velocità
- la portata effettiva
- il parametro “diff.” di controllo, che assume il valore zero quando la portata calcolata iterativamente coincide con la portata di progetto.

In aggiunta a questi dati, il foglio di calcolo determina:

- il grado di riempimento della sezione (come rapporto tra h effettiva e h_{max})
- il grado di riempimento della sezione (come rapporto tra Q effettiva e $Q_{massima}$)
- il numero di Froude della corrente e, quindi la relativa tipologia di corrente (lenta, critica, veloce)

GRANDEZZE IDRAULICHE		u.m.
Tirante idrico	1,037	[m]
z min	78,640	[m]
z idr	79,677	[m]
Tirante idrico max	2,920	[m]
$x_{pelo_libero_sx}$	2,414	[m]
$x_{pelo_libero_dx}$	10,760	[m]
b_{pelo_libero}	8,347	[m]
Area	6,798	[m ²]
Perimetro bagnato	8,951	[m]
Raggio idraulico	0,759	[m]
Velocità	0,877	[m/s]
Diff.	0,00	[m ³ /s]
Portata	5,96	[m ³ /s]

Tirante idrico	1,037	[m]
Tirante idrico max	2,920	[m]
Riempimento h/h_{max}	35,5%	[%]

Portata	5,961	[m ³ /s]
Portata max	42,180	[m ³ /s]
Riempimento h/h_{max}	14,1%	[%]

Fr	0,275	[-]
Tipo di corrente	Corrente lenta	[-]

Tabella 6 – Tabella dei risultati di verifica della sezione

Infine, il foglio diagramma i grafici della scala delle velocità e delle portate per la sezione, mediante la scomposizione in 100 passi dell'intervallo massimo di altezza dell'acqua nella sezione. Su tali grafici sono riportati i punti relativi alle condizioni di funzionamento del canale, coerentemente con i dati di ingresso.

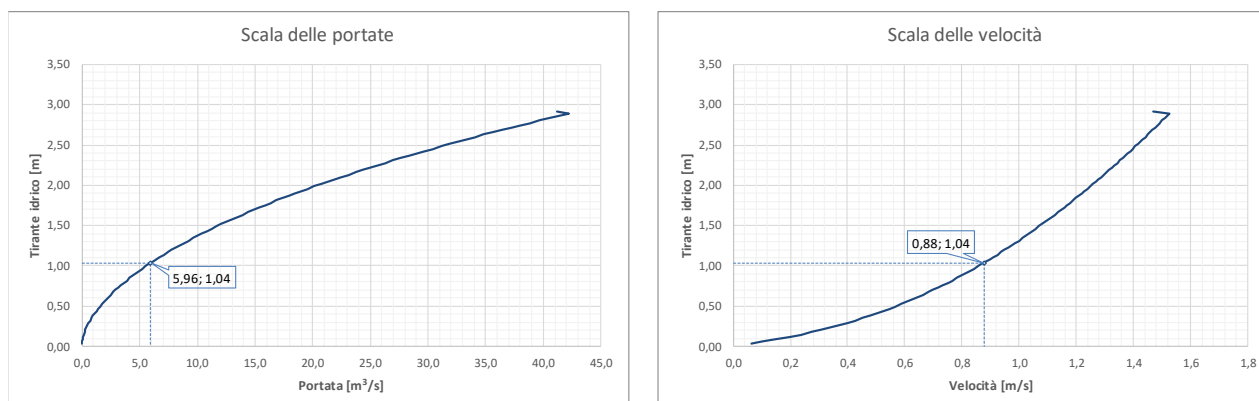


Figura 57 – Scala delle portate e delle velocità per la sezione e relativi punti di funzionamento

8.4. CALCOLO DEL LIMITE DELLE AREE INONDABILI

Il calcolo del limite delle aree inondabili è stato eseguito mediante il post-processore del software HEC-RAS a valle dell'analisi in regime non-permanente sul modello idraulico descritto al §7.2 e mappato tramite RAS Mapper. A seguire si riporta la mappa delle aree inondate; si specifica che le zone indicate rappresentano l'involuppo massimo delle aree raggiunte dalle acque di piena, aree diverse possono quindi essere raggiunte in tempi diversi e rimanere sommerse per durate diverse.

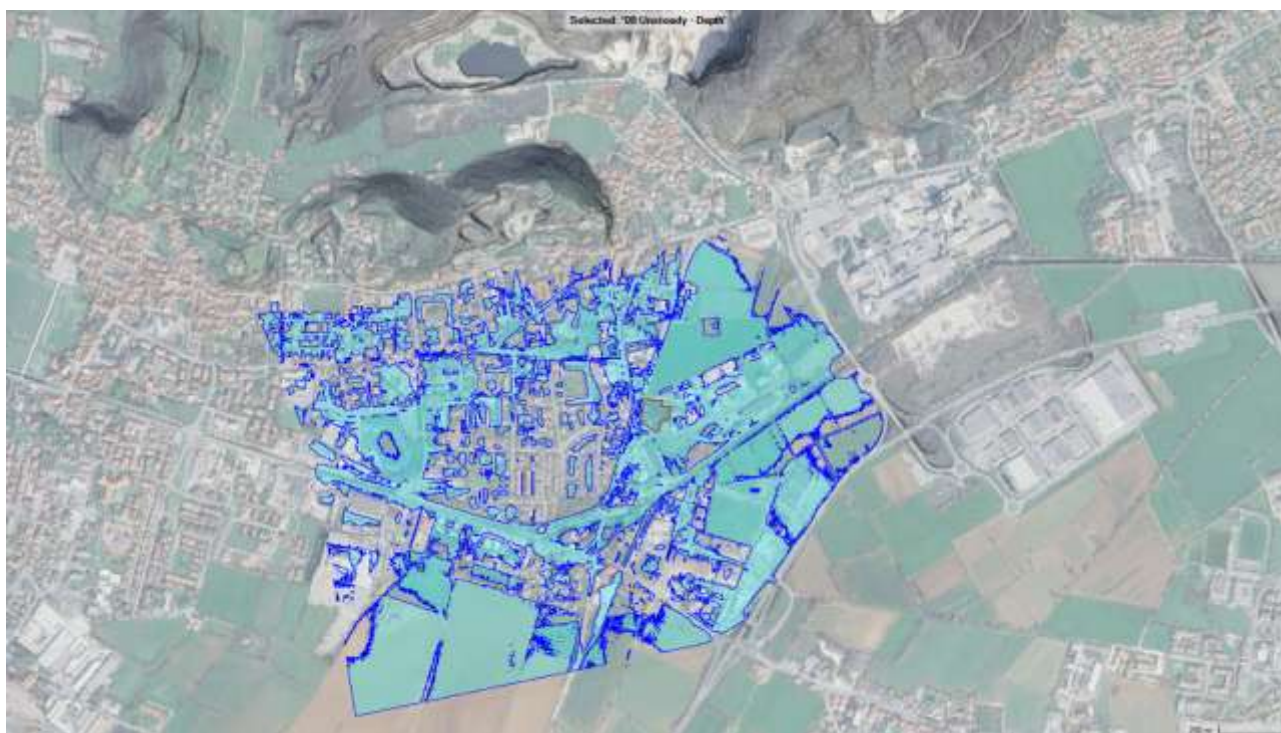


Figura 58 – Mappa delle aree inondate per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Involuppo massimo – Inquadramento generale

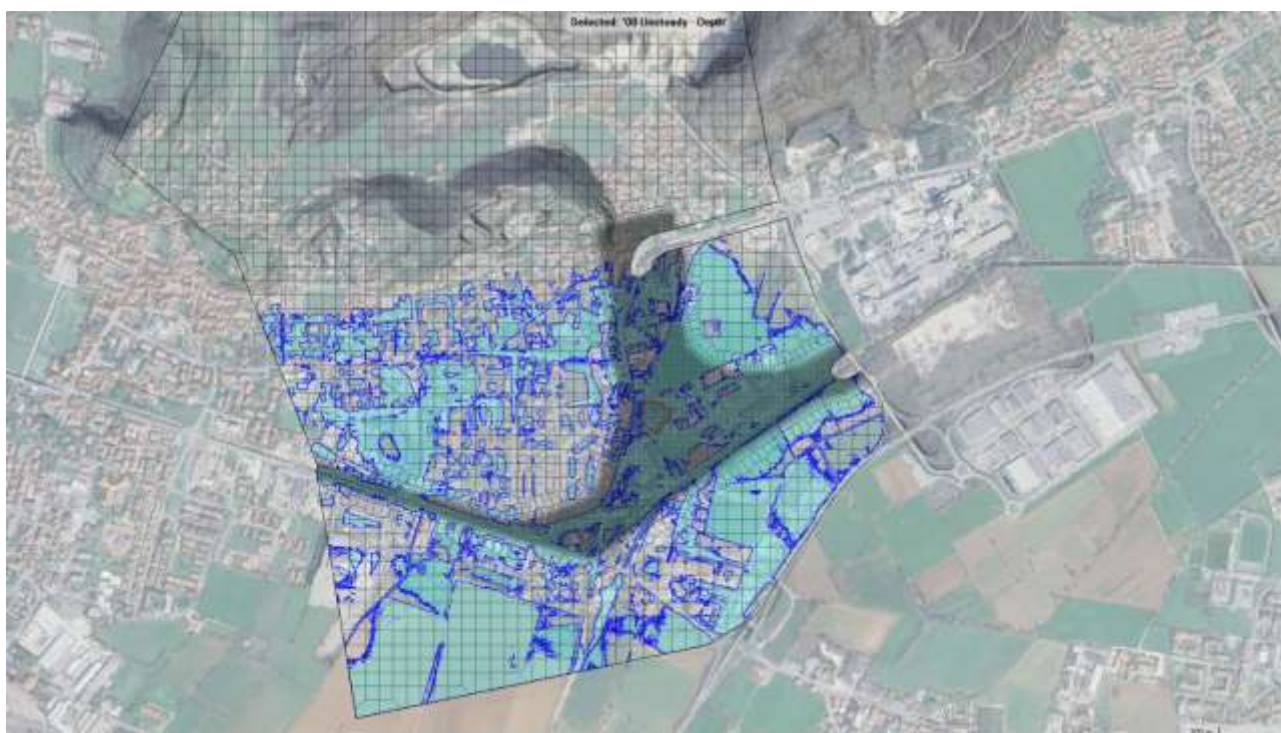


Figura 59 – Mappa delle aree inondate per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Involuppo massimo – Inquadramento generale



Figura 60 – Mappa delle aree inondate per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Involuppo massimo – Dettaglio area di verifica

Per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni l'area oggetto di studio risulta interamente interessata dal fenomeno di inondazione.

8.5. CALCOLO DELL'ALTEZZA DELLE ACQUE DI PIENA

Il calcolo dell'altezza dell'acqua di piena è stato eseguito mediante il post-processore del software HEC-RAS a valle dell'analisi in regime non-permanente sul modello idraulico descritto al §7.2 e mappato tramite RAS Mapper. A seguire si riporta la mappa dell'involuppo delle altezze idriche massime.



Figura 61 – Mappa delle altezze idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Involuppo massimo – Inquadramento generale

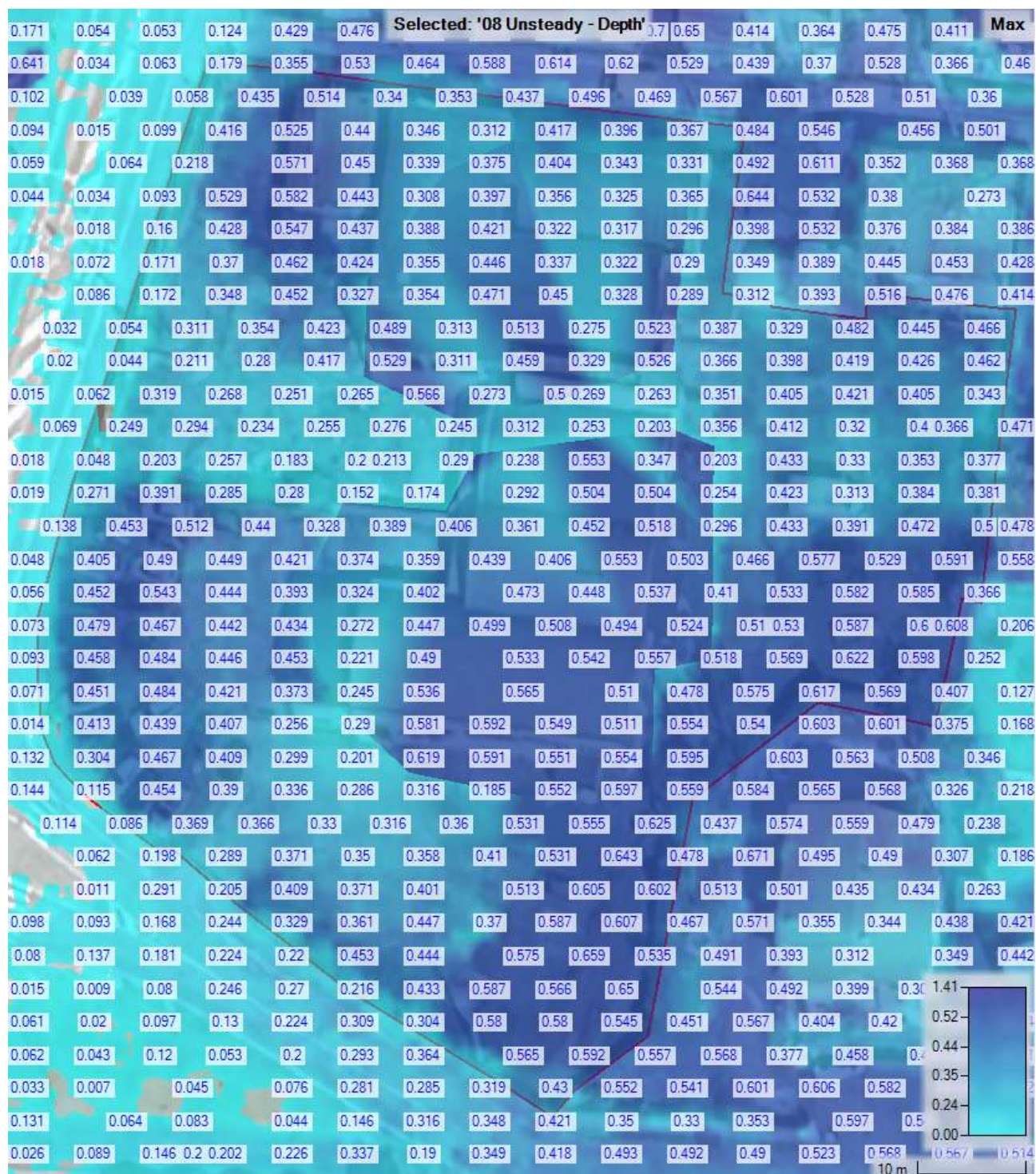


Figura 62 – Mappa delle altezze idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Inviluppo massimo – Dettaglio area di verifica

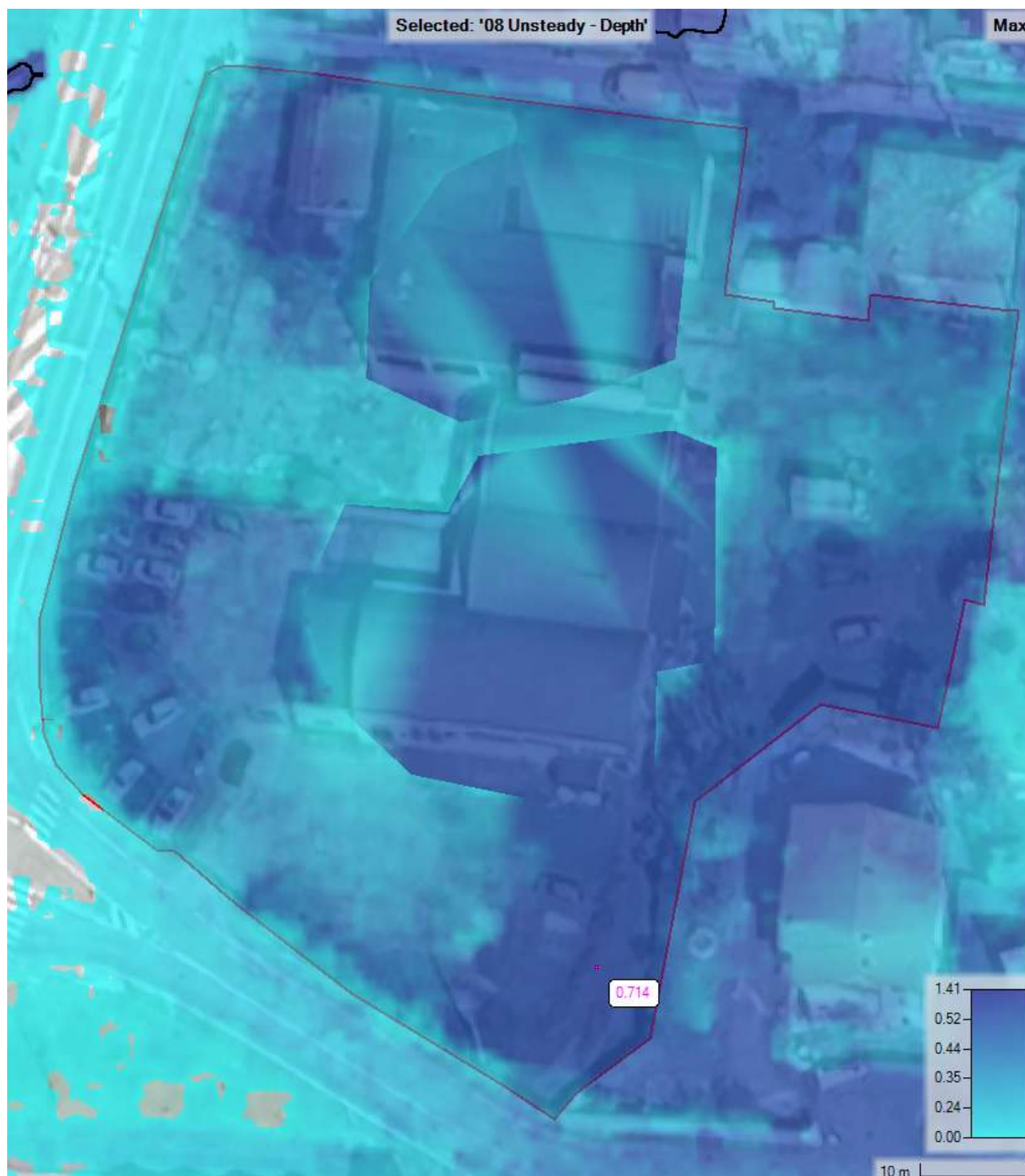


Figura 63 – Mappa delle altezze idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Inviluppo massimo – Dettaglio area di verifica

Per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni l'altezza idrica massima attesa nell'area oggetto di studio risulta pari a 0,714m.

8.6. CALCOLO DELLA VELOCITÀ DELLE ACQUE DI PIENA

Il calcolo delle velocità delle acque di piena è stato eseguito mediante il post-processore del software HEC-RAS a valle dell'analisi in regime non-permanente sul modello idraulico descritto al §7.2 e mappato tramite RAS Mapper. A seguire si riporta la mappa dell'involuppo delle velocità idriche massime.



Figura 64 – Mappa delle velocità idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Involuppo massimo – Inquadramento generale

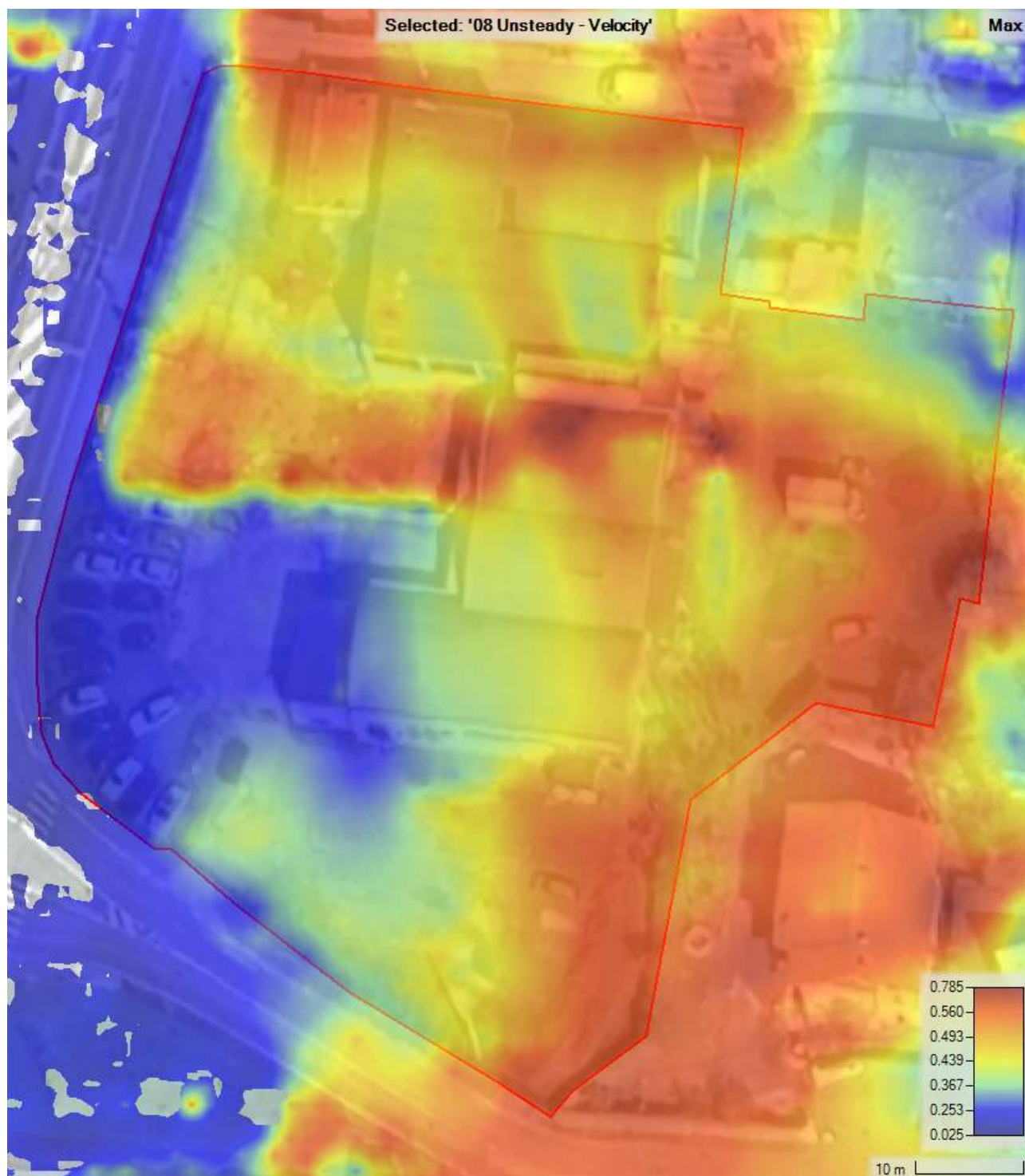


Figura 65 – Mappa delle velocità idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Inviluppo massimo – Dettaglio area di verifica

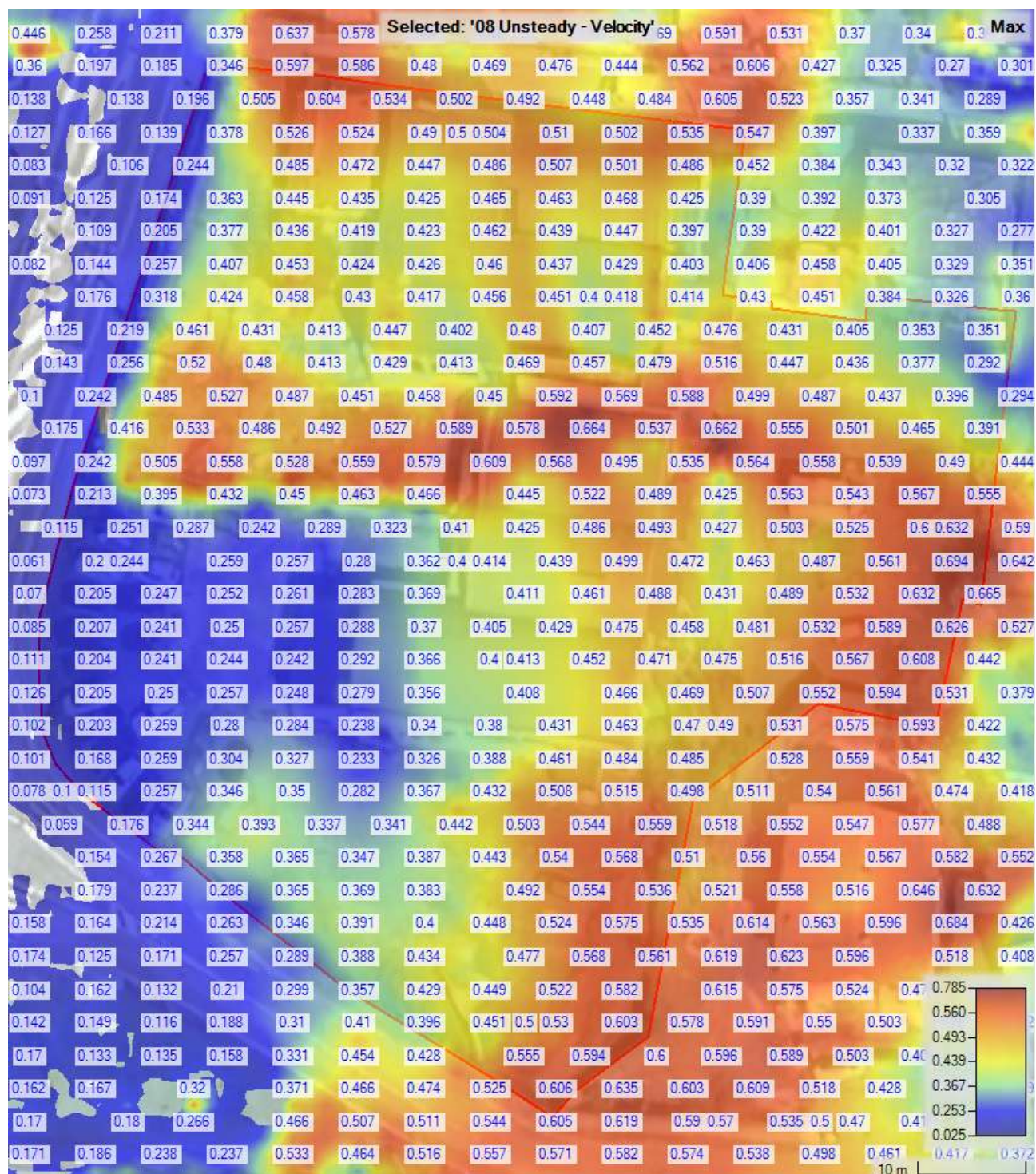


Figura 66 – Mappa delle velocità idriche per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Inviluppo massimo – Dettaglio area di verifica

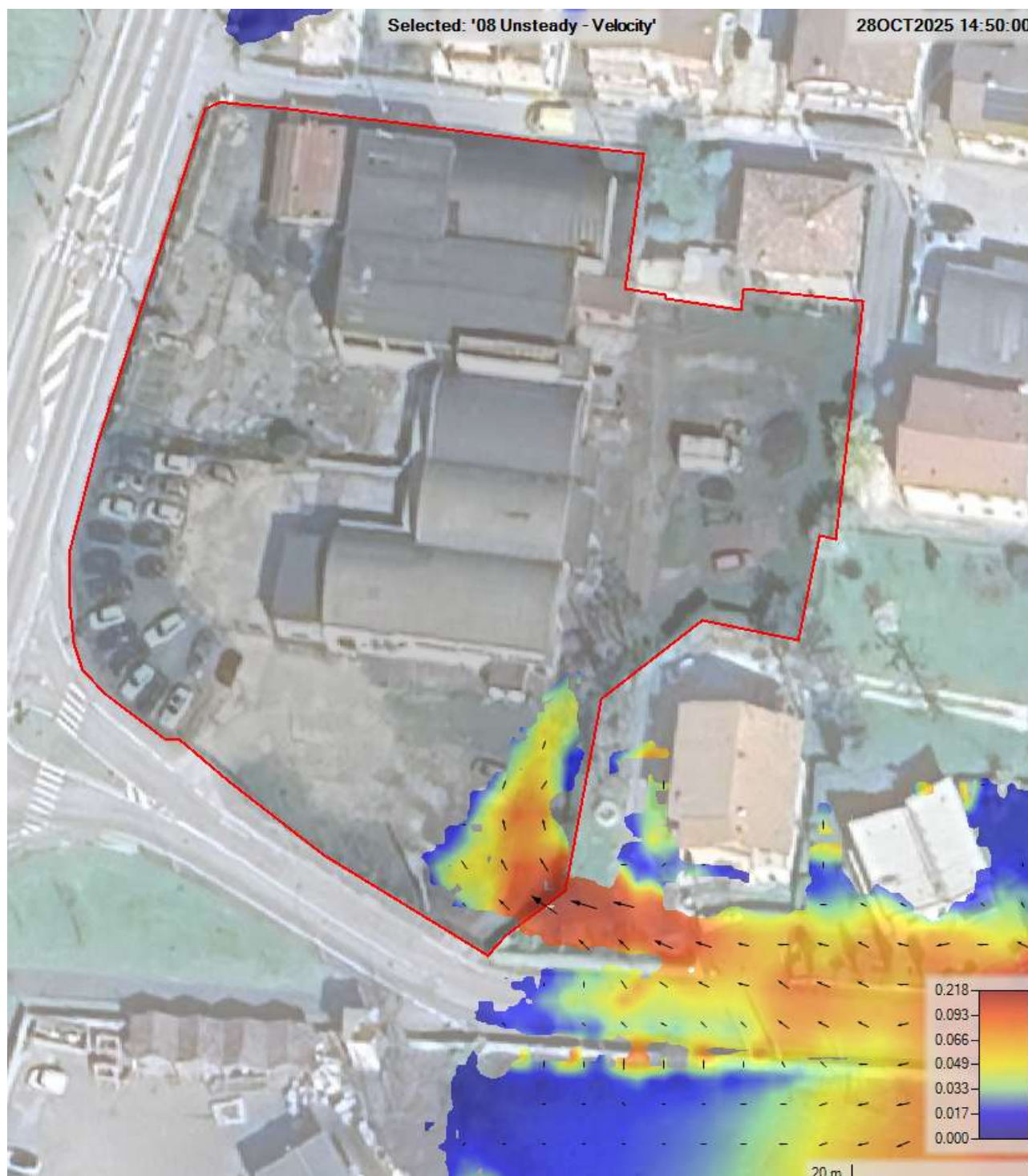


Figura 67 – Mappa delle velocità e delle direzioni di flusso per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Dettaglio area di verifica – Situazione dopo 14 ore e 50 minuti dall'inizio dell'evento meteorico di progetto

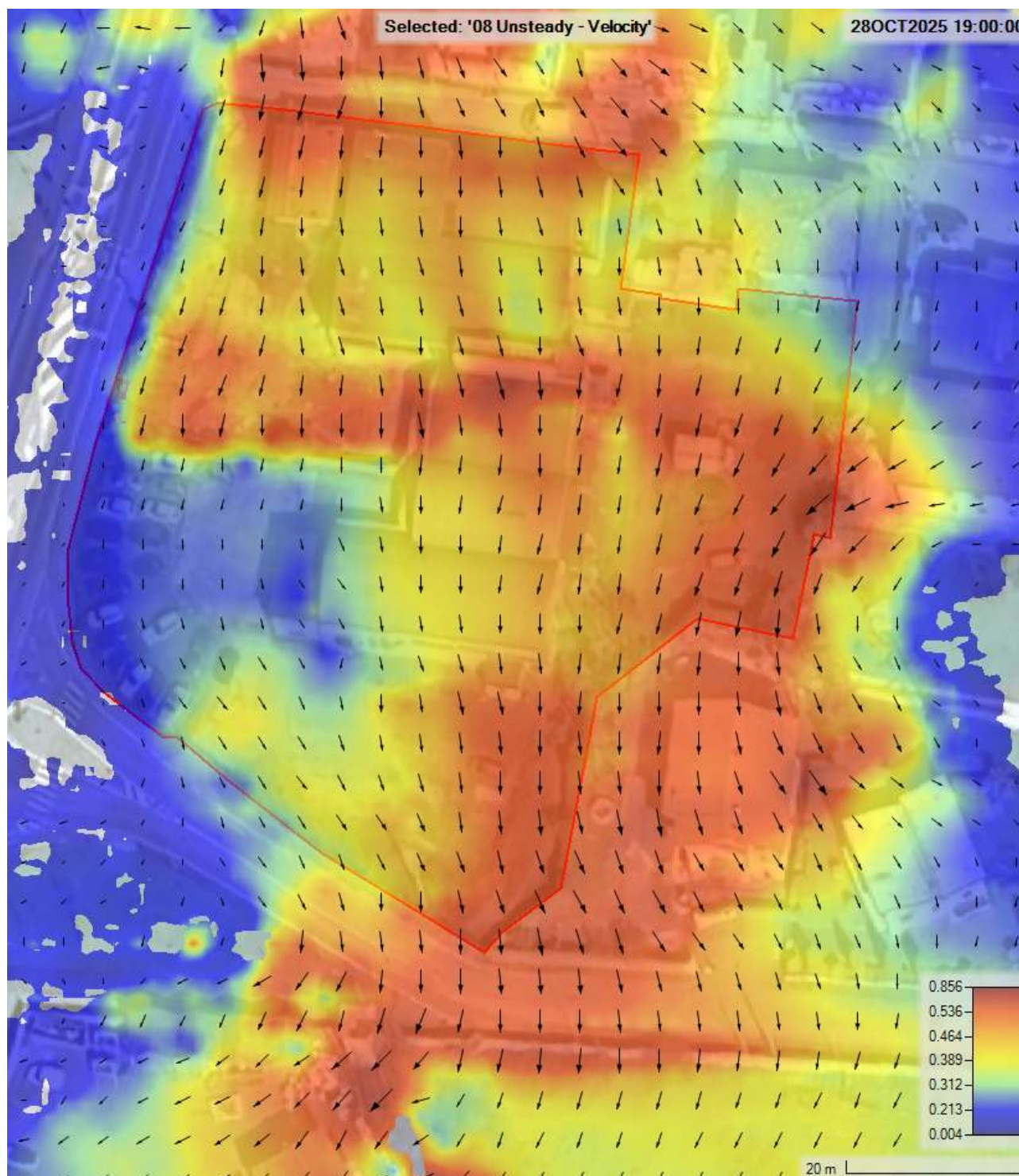


Figura 68 – Mappa delle velocità e delle direzioni di flusso per eventi con tempo di ritorno 100 anni – Dettaglio area di verifica – Situazione dopo 19 ore dall'inizio dell'evento meteorico di progetto

Per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni la velocità idrica massima attesa nell'area oggetto di studio risulta pari a 0,785 m/s.

8.7. CALCOLO DEL PRODOTTO ALTEZZA x VELOCITÀ

In base al parametro definito dalla direttiva 1 del PAI, la velocità e l'altezza dell'acqua devono essere considerate anche per pianificare le eventuali operazioni di evacuazione dell'insediamento.

Al fine di valutare in prima approssimazione le condizioni di sicurezza di una persona che attraversa un'area allagata, si può assumere indicativamente che si verifichi una situazione di rischio quando:

$$v \cdot h \geq 0,40 \text{ m} \cdot \text{m/s}$$

Il calcolo del prodotto dell'altezza idrica per la velocità delle acque di piena è stato eseguito mediante il post-processore del software HEC-RAS a valle dell'analisi in regime non-permanente sul modello idraulico descritto al §7.2 e mappato tramite RAS Mapper. A seguire si riporta la mappa dell'inviluppo del prodotto sopra definito.



Figura 69 – Mappa del prodotto altezza x velocità per eventi con Tr 100 anni – Inviluppo massimo – Inquadramento generale

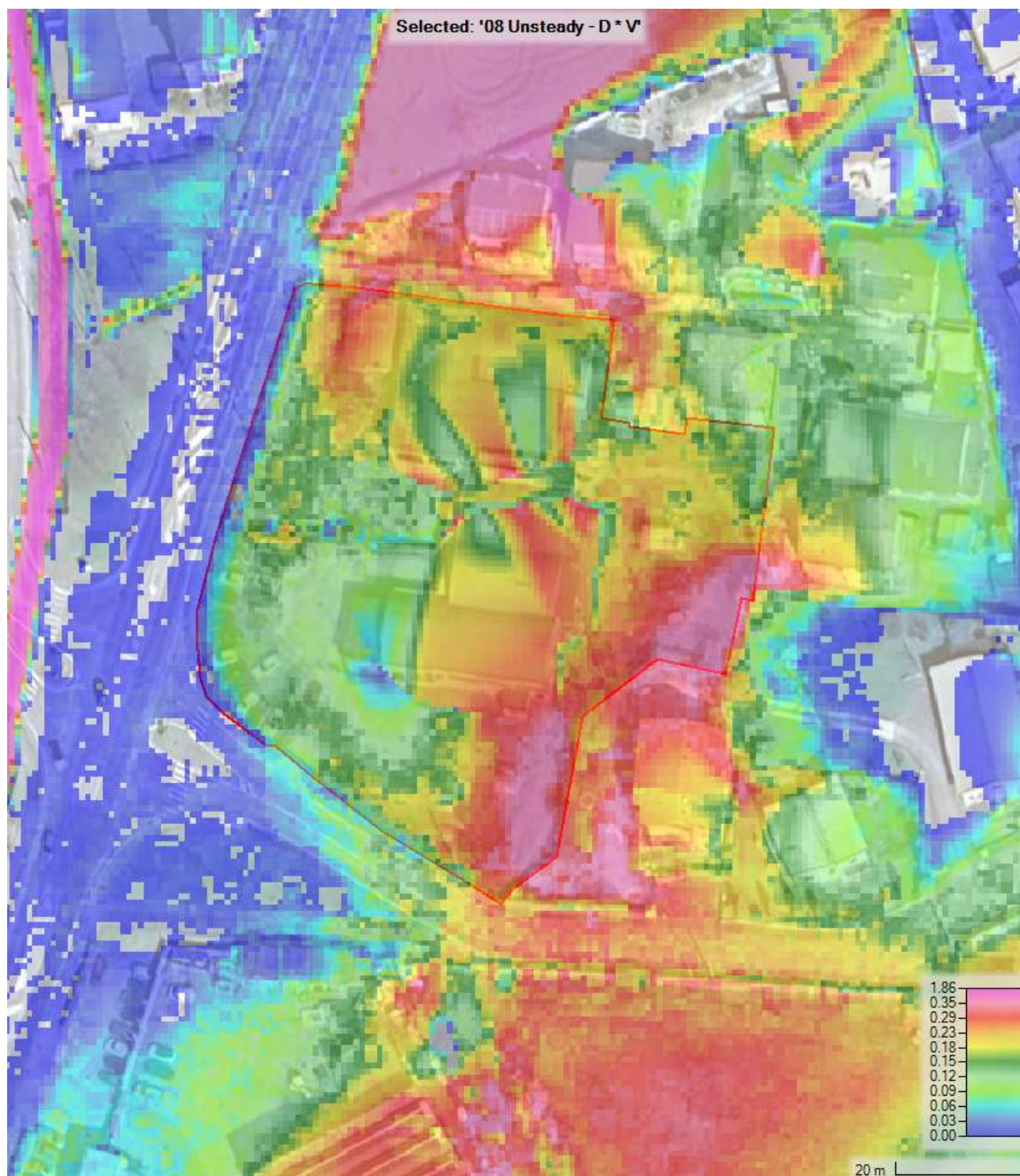


Figura 70 – Mappa del prodotto altezza x velocità per eventi con Tr 100 anni – Involuppo massimo – Dettaglio area di verifica

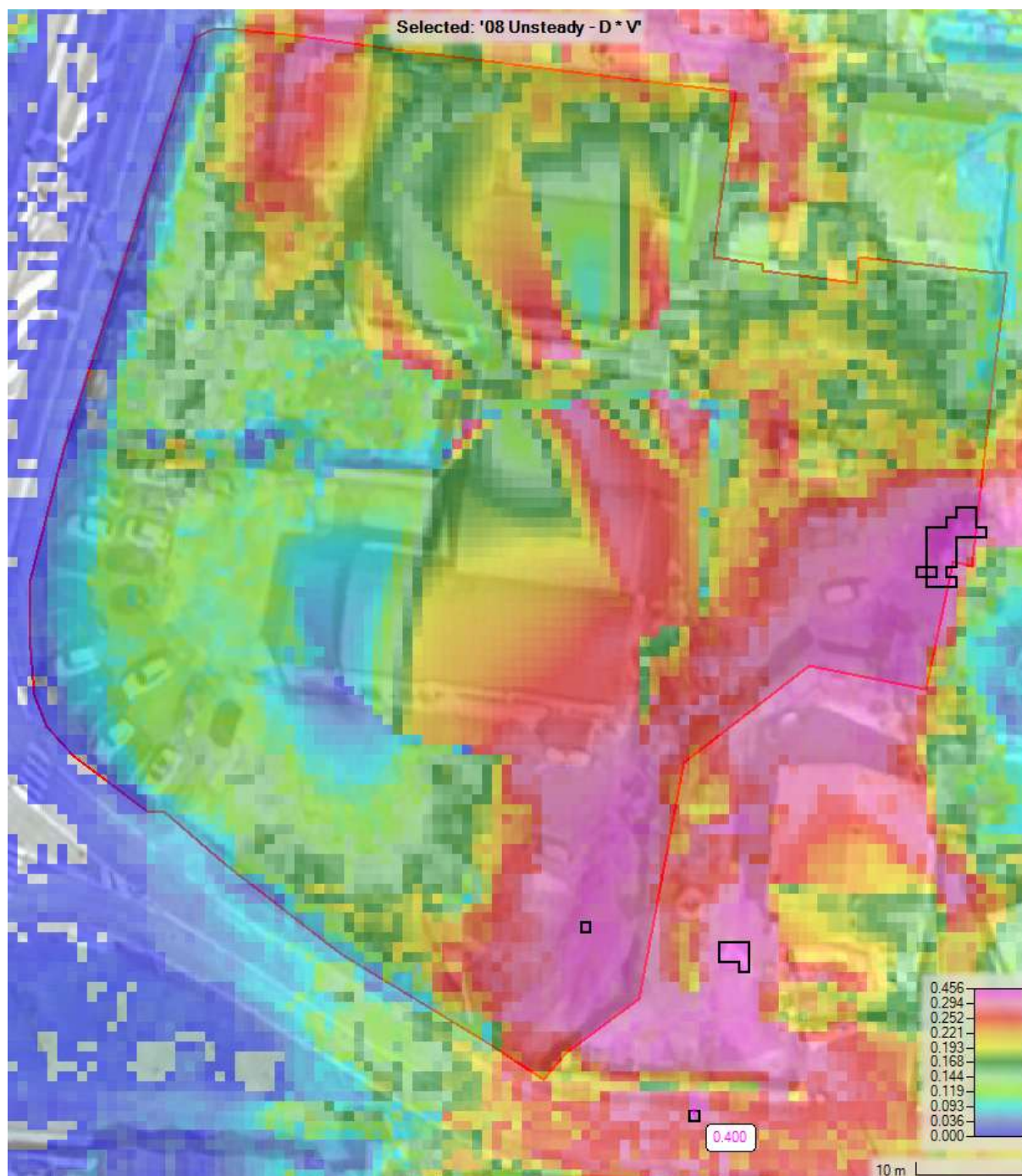


Figura 71 – Mappa del prodotto altezza x velocità per eventi con Tr 100 anni – Involuppo massimo – Dettaglio area di verifica

Per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni il prodotto dell'altezza idrica massima per la velocità massima delle acque di piena atteso nell'area oggetto di studio risulta pari, al massimo, a 0,456 m²/s.

8.7.1. RISCHIO PER GLI UTENTI

Dalle informazioni di cui al precedente paragrafo, in base al parametro definito dalla direttiva 1 del PAI, risultano presenti aree potenzialmente pericolose per l'attraversamento da parte degli utenti in condizioni di allagamento.

9. CONCLUSIONI

Si è redatto uno studio di compatibilità idraulica per il progetto di realizzazione di un nuovo complesso residenziale, necessario ai fini del rilascio del titolo edilizio e finalizzato a fornire gli strumenti per definire i limiti e gli accorgimenti da assumere per rendere l'intervento compatibile con le criticità rilevate, in base al tipo di pericolosità e al livello di esposizione locali.

Nell'ambito delle verifiche di compatibilità idraulica per la realizzazione del un nuovo complesso residenziale in Via Gardesana a Rezzato (BS), i criteri di valutazione per valutare la compatibilità delle opere sono stati adottati secondo quanto previsto dalla *"Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce "A" e "B"*", approvata con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11.05.1999 ed aggiornata con Deliberazione n. 10 del Comitato Istituzionale del 05.04.2006. Il punto 1.2 di tale direttiva dà alcune indicazioni in merito ai criteri di valutazione della compatibilità delle opere interferenti; in particolare si richiede di valutare i seguenti effetti indotti dall'opera e le interazioni con il recapito:

- 1) Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena;
- 2) Riduzione della capacità di invaso dell'alveo;
- 3) Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;
- 4) Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento;
- 5) Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena;
- 6) Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- 7) Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Riassumendo i risultati delle analisi esposte nei capitoli precedenti, nell'area sulla quale è previsto l'intervento e per eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni, si evidenziano i seguenti punti principali:

- Il fenomeno di piena interessa interamente l'area sulla quale è previsto l'intervento;
- I tiranti idrici sono compresi tra un minimo di circa 0,10m e un **massimo di 0,714m**, con un'altezza mediamente pari a circa 0,50m;
- Le velocità idriche sono comprese tra un minimo di circa 0,20m/s e un **massimo di 0,785m/s**, su buona parte del lotto le velocità sono comprese tra 0,50m/s e 0,60m/s;
- Il prodotto dell'altezza idrica massima per la velocità massima delle acque di piena ha un valore **massimo di 0,456m²/s**.
- Non sono presenti insediamenti e/o infrastrutture sui corsi d'acqua interessati per i quali si rilevino modificazioni dello stato di rischio idraulico conseguenti alla realizzazione dell'intervento in progetto;
- L'intervento in progetto non produce effetti sull'assetto dei corsi d'acqua presenti nell'intorno dell'area, non modifica i fenomeni idrici naturali, non modifica le caratteristiche dell'ecosistema fluviale;
- L'intervento in progetto non costituisce ostacolo al deflusso delle acque e non limita la capacità di invaso.

È possibile, quindi, concludere quanto segue:

1) Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena

Non si producono modifiche di alcun tipo sui profili di inviluppo di piena per i corsi d'acqua nell'area di indagine conseguenti l'attuazione dell'intervento in progetto.

2) Riduzione della capacità di invaso dell'alveo

Non si producono modifiche di alcun tipo sulla capacità di invaso degli alvei per i corsi d'acqua nell'area di indagine conseguenti l'attuazione dell'intervento in progetto.

3) Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti;

Non si rilevano interazioni di alcun tipo con le opere di difesa idrauliche esistenti (opere di sponda e argini) per i corsi d'acqua nell'area di indagine conseguenti l'attuazione dell'intervento in progetto.

4) Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento;

Non sono previste opere idrauliche a progetto in grado di generare interazioni di alcun tipo con i corsi d'acqua nell'area di indagine. Le acque meteoriche generate nell'ambito dell'area di intervento saranno gestite in conformità ai principi di invarianza idraulica e idrologica e saranno, pertanto, infiltrate negli strati superficiali del sottosuolo internamente al perimetro del lotto di intervento.

5) Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena;

Non si producono modifiche sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena per i corsi d'acqua nell'area di indagine conseguenti l'attuazione dell'intervento in progetto.

6) Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;

Non si producono modifiche rilevanti sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale conseguenti l'attuazione dell'intervento in progetto, essendo l'area in oggetto compresa all'interno di una zona già urbanizzata e edificata.

7) Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

All'interno dell'area oggetto di intervento, considerati i valori, già riportati sopra, relativamente ad altezze idriche, velocità di flusso e prodotto dell'altezza idrica massima per la velocità massima delle acque di piena, valutati in relazione al parametro definito dalla direttiva 1 del PAI, risultano essere presenti aree potenzialmente pericolose per gli utenti in condizioni di allagamento.

A tal fine sarà necessario prevedere accorgimenti progettuali e costruttivi atti a ridurre o annullare il rischio, quali ad esempio (a titolo esemplificativo e non esaustivo):

- progettare gli elementi costruttivi con tecniche e materiali compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica (evitare quindi materiali che possono deteriorarsi, ad esempio elementi lignei o assimilabili....);
- progettare gli impianti tecnologici, ed in particolare gli impianti elettrici, prevedendo il posizionamento delle componenti critiche a quote tali da garantire condizioni di sicurezza in caso di evento alluvionale, nonché con soluzioni costruttive compatibili

con la possibile sommersione temporanea; tale indicazione dovrà essere espressamente recepita e sviluppata dal progettista degli impianti elettrici;

- Progettare gli interventi (anche delle sistemazioni esterne) in modo da favorire il deflusso/infiltrazione delle acque di esondazione ed evitando interventi che ne comportino l'accumulo o aggravino le condizioni rischio per le aree circostanti (ad esempio sistemare le aree esterne con elementi idonei a rallentare – senza ostacolare completamente – la velocità di scorrimento superficiale delle acque – anche con elementi naturali quali arbusti o vegetazione in genere).

Infine, si richiamano le limitazioni e gli accorgimenti da adottare ai fini della compatibilità dell'intervento con le previsioni delle norme di riferimento per le *“Aree Allagabili inserite nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)”*:

- garantire l'applicazione delle misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare e non peggiorare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio;
- non prevedere la realizzazione di piani interrati o seminterrati;
- progettare e realizzare le trasformazioni consentite con modalità che risultino compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica;
- progettare e realizzare gli impianti in generale, ed in particolare gli impianti elettrici, a quote che garantiscano la sicurezza in caso di alluvione e con modalità che risultino compatibili, senza danni significativi, con la sommersione periodica;
- progettare gli interventi in modo da favorire il deflusso/infiltrazione delle acque di esondazione ed evitando interventi che ne comportino l'accumulo, ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti.

Bagnolo Mella, 12/02/2026

Ing. Giorgio Castelvvedere
(documento firmato digitalmente)