

Tronco

A52 - TANGENZIALE NORD DI MILANO

Oggetto

Potenziamento interconnessione A4-A52 ramo di svincolo tra A4 dir. Torino e A52 dir. Rho e svincolo Monza S. Alessandro - Opera connessa Olimpiadi 2026

CUP:

-

Fase progettuale

PROGETTO ESECUTIVO

LA CONCEDENTE



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

LA CONCESSIONARIA



MILANO SERRAVALLE
MILANO TANGENZIALI S.p.A
IL DIRETTORE TECNICO
dott. ing. Giuseppe Colombo

Il progettista



Descrizione elaborato

IDR - IDROLOGIA ED IDRAULICA
Idraulica di piattaforma

-
Studio di compatibilità idraulica
-

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
A	28/02/2023	EMISSIONE	A. Maconi	M. Tomasin	M. Mariani
B	-	-	-	-	-
C	-	-	-	-	-
D	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-

Codifica elaborato

5	0	2	3	E	I	D	R	0	0	4	R	0	X	X	X	X	X	A
Codice	Fase	Ambito	Progressivo	Tipo	Lotto	Zona	Opera	Tratto	Rev									

Scala

-

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA MILANO SERRAVALLE MILANO TANGENZIALI S.P.A.
OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.

THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF MILANO SERRAVALLE MILANO TANGENZIALI S.P.A.
UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTE BY LAW.

I N D I C E

Sommario

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO, GEOLOGICO E GEOTECNICO.....	5
3.1	INQUADRAMENTO CLASSE DI FATTIBILITÀ PGT COMUNE DI MONZA	5
3.1.1	Inquadramento vincoli ambientali - PGT Comune di Monza	7
3.1.2	Struttura Idrogeologica	12
3.1.3	Acquifero Tradizionale	12
4	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	15
4.1	RIM – RETICOLO IDRICO MINORE	15
4.2	FIUME LAMBRO	17
4.2.1	Il bacino.....	17
4.2.2	Cavo Diotti	19
4.2.3	Il Lambro in comune di Monza.....	21
5	INQUADRAMENTO DEL RISCHIO E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA PER L'INTERVENTO IN PROGETTO	22
5.1	PIANIFICAZIONE A SCALA DI BACINO E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO	22
5.1.1	Piano Stralcio Per l'Assetto Idrogeologico.....	22
5.1.2	Piano Gestione Rischio Alluvioni	23
5.2	PIANIFICAZIONE COMUNALE E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO	24
5.2.1	Variante 2018 PGT Monza	26
5.3	PROGETTI PARCO VALLE LAMBRO	28
5.3.1	Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona.....	29
5.4	PIENE STORICHE	29
5.5	VALUTAZIONE RISCHIO E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO..	30
6	ANALISI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'INTERVENTO	31
6.1	PREMESSA	31
6.2	RICOSTRUZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL TERRENO	32
6.3	AREA 2D DI CALCOLO E BREAK LINES	37
6.4	COEFFICIENTI DI SCABREZZA	39
6.5	2D AREA CONNECTIONS	41
6.6	CONDIZIONI AL CONTORNO E PORTATE IN INGRESSO	43
6.7	I RISULTATI DELLO STATO DI FATTO	48
6.8	SIMULAZIONE DI PROGETTO E RISULTATI	58
7	CONCLUSIONI	65
8	APPENDICE A: CODICE DI CALCOLO HEC – RAS.....	68

1 PREMESSA

La presente relazione presenta le analisi idrauliche nell'ambito degli interventi di modifica del ramo di svincolo tra A4 dir. Torino e A52 dir. Torino relative alla definizione della compatibilità idraulica dell'opera nei riguardi del Fiume Lambro, i cui allagamenti interessano l'area di progetto.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Direttiva 2 dell'11 maggio 1999 da parte dell'Autorità di Bacino del Fiume Po. Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce "A" e "B".

Fornisce i criteri, le prescrizioni e gli indirizzi di natura tecnica sulla base dei quali redigere lo studio idraulico, che deve corredare i progetti delle opere, necessario a valutare la compatibilità delle stesse con le prescrizioni del Piano stralcio.

3 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO, GEOLOGICO E GEOTECNICO

L'inquadramento idrogeologico, geologico e geotecnico è stato desunto dalla Relazione Geologico-Geotecnica del progetto Esecutivo degli "INTERVENTI DI MIGLIORIA DELLE OPERE DI REGIMAZIONE DELLE ACQUE METEORICHE INTERVENTO E F G" redatto nell'Ottobre 2005 da Milano Serravalle e dal PGT del comune di Monza.

3.1 INQUADRAMENTO CLASSE DI FATTIBILITÀ PGT COMUNE DI MONZA

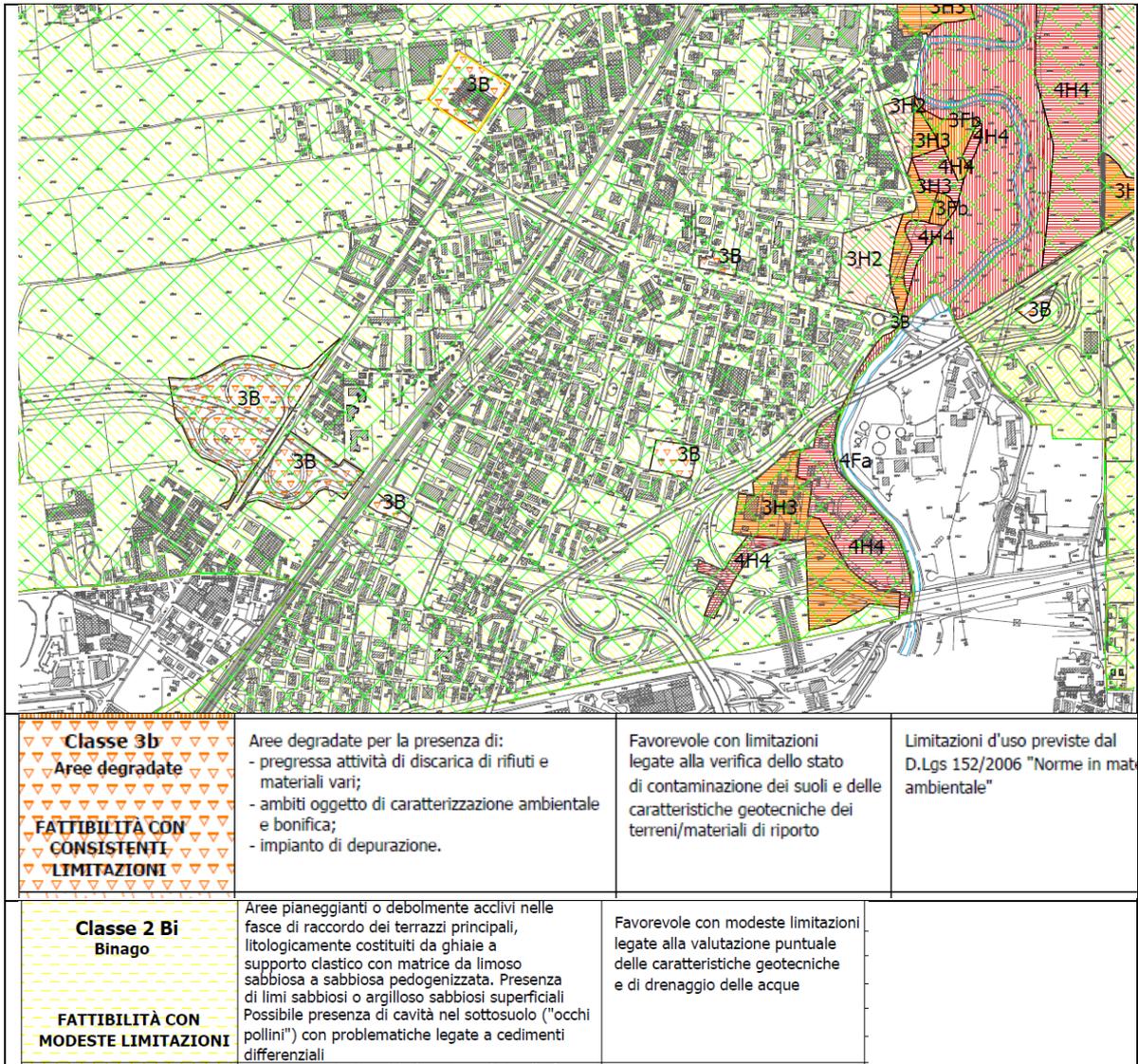
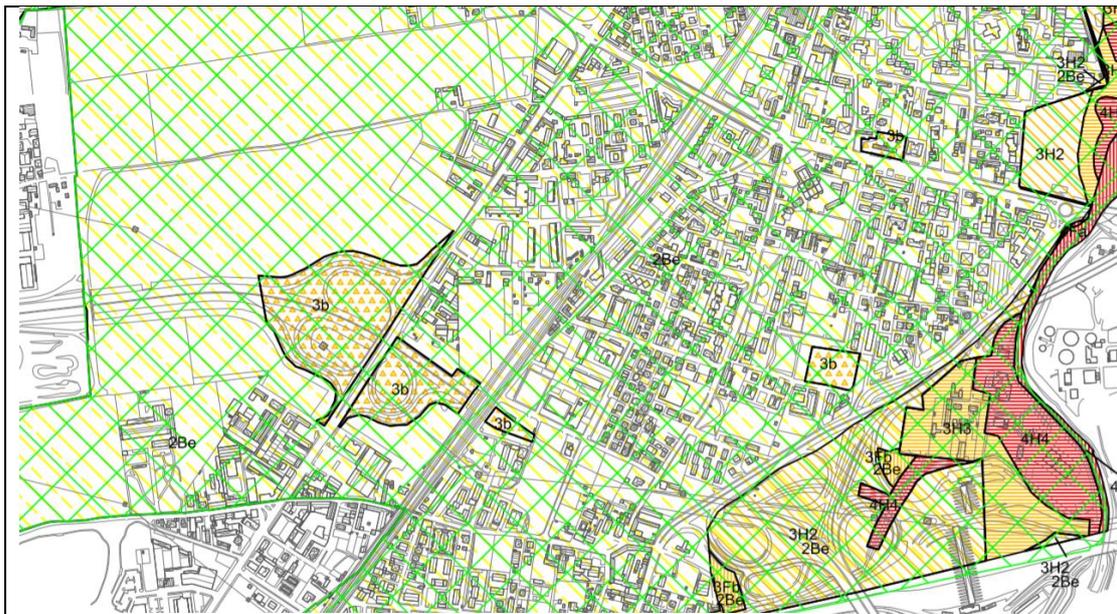


Figura 3.1: Tav 9c-9d -Componente geologica, idrogeologica e sismica - Piano delle Regole PGT Monza.



AREE A PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE (PSL)



Aree ad approfondimento di secondo livello in fase pianificatoria

<p>Classe 3b Aree degradate</p> <p>FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI</p>	<p>Aree degradate per la presenza di: - pregressa attività di discarica di rifiuti e materiali vari; - ambiti oggetto di caratterizzazione ambientale e bonifica; - impianto di depurazione.</p>	<p>Favorevole con limitazioni legate alla verifica dello stato di contaminazione dei suoli e delle caratteristiche geotecniche dei terreni/materiali di riporto</p>	<p>Limitazioni d'uso previste dal D.Lgs 152/2006 "Norme in materia ambientale"</p>
<p>Classe 2 Bi Binago</p> <p>FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI</p>	<p>Aree pianeggianti o debolmente acclivi nelle fasce di raccordo dei terrazzi principali, litologicamente costituiti da ghiaie a supporto elastico con matrice da limosa sabbiosa a sabbiosa pedogenizzata. Presenza di limi sabbiosi o argillosi sabbiosi superficiali. Possibile presenza di cavità nel sottosuolo ("occhi pollini") con problematiche legate a cedimenti differenziali.</p>	<p>Favorevole con modeste limitazioni legate alla valutazione puntuale delle caratteristiche geotecniche e di drenaggio delle acque</p>	
<p>Classe 3H2 e 3H2* Classe 3H2b Aree a pericolosità idraulica media</p> <p>FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI</p>	<p>Aree caratterizzate da pericolosità idraulica media H2 (tiranti idrici compresi tra 0,00 e 0,30 m e velocità comprese tra 0,00 e 0,60 m/s) in diretta connessione idraulica con il F. Lambro (Classe 3H2) e aree a pericolosità idraulica H2* indirettamente interessate da fenomeni di allagamento (Classe 3H2*). Comprende ambiti degradati ricadenti in aree a pericolosità idraulica H2 (Classe 3H2b).</p>	<p>Favorevole con consistenti limitazioni legate al rischio idraulico. Parere subordinato all'attuazione di interventi di mitigazione del rischio (classe 3H2 e 3H2*) e alla verifica dello stato di salubrità dei suoli (per la sola classe 3H2b)</p>	<p>E' ammessa la realizzazione di nuove infrastrutture e impianti tecnologici; sono ammessi gli interventi di cui alla lettera a,b,c (Art. 27 L.R. 12/05); gli interventi di cui alla lettera d) e e) sono subordinati alla verifica della compatibilità del progetto alle condizioni di rischio locale.</p>

Figura 3.2: Tav10_FATTIBILITÀ_agg-variante 2018 PGT Monza.

Nelle aree PGRA P3/H e P2/M non ricomprese nelle aree R4 non già interessate dalle classi di fattibilità 4H4, 3H3 e 3H2 vigenti, sono state attribuite rispettivamente le norme di fattibilità 4FA (≡fascia A del PAI) e 3FB (≡Fascia B).

Nelle aree PGRA P2/M e P3/H ricomprese nelle aree R4, non già interessate dalle classi di fattibilità 4H4, 3H3 e 3H2 definite sulla base dello Studio Pacheco 2008- 2016, sono state attribuite le Norme Geologiche della classe di fattibilità 3H2 come puntualmente modificata nei contenuti testuali.

Si riporta stralcio 3H2 "Recepimento del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) nel PGT vigente-relazione illustrativa per la messa a disposizione in VAS:"

Principali caratteristiche: Aree caratterizzate da pericolosità idraulica media H2 (tiranti idrici compresi tra 0,00 e 0,30 m e velocità comprese tra 0,0 e 0,3 m/s) in diretta connessione idraulica con il F. Lambro (3H2) e aree a pericolosità idraulica H2* indirettamente interessate da fenomeni di allagamento (3H2*). Comprende ambiti degradati ricadenti in classe di pericolosità idraulica H2.

Parere sull'edificabilità: favorevole con consistenti limitazioni legate al rischio idraulico.

È facoltà dell'Amministrazione rilasciare parere favorevole ai Piani Attuativi subordinando il rilascio del permesso di costruire all'attuazione di interventi di mitigazione del rischio. Ciò al fine di consentire l'edificazione in aree aventi condizioni di rischio accettabili. Inoltre per le aree in classe 3H2b il parere è favorevole con limitazioni legate alla verifica dello stato di salubrità dei suoli e delle caratteristiche geotecniche dei terreni/materiali di riporto.

Tipo di intervento ammissibile: Non sono ammessi nuovi interventi edificatori comportanti occupazione di aree attualmente non edificate, ad esclusione di nuove infrastrutture e impianti tecnologici che non prevedano la permanenza di persone al loro interno e progettati in modo tale da escludere un loro danneggiamento in caso di coinvolgimento da esondazione e da ridurre i tempi di inagibilità degli stessi. Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia come definiti dall'art. 3, comma 1, lettere a), b), c) e d) (con esclusione di quelli comportanti demolizione con ricostruzione) del D.P.R.380/2001.

In caso di interventi rientranti nella lettera d) comportanti demolizione con ricostruzione e e) (nuova costruzione), è facoltà dell'Amministrazione rilasciare parere favorevole, subordinando il rilascio del permesso di costruire all'esecuzione di uno studio di compatibilità idraulica e all'eventuale attuazione di interventi di mitigazione del rischio. La definizione degli interventi di mitigazione del rischio dovrà essere dettagliata a livello di progetto preliminare da allegare alla documentazione fornita a supporto del Piano.

Per gli edifici interessati dalle tipologie di intervento di cui alla lettera d) ed e), non è previsto, nel corso dell'esecuzione dei lavori e a realizzazione avvenuta dell'intervento edilizio, il riconoscimento del risarcimento, da parte della Pubblica Amministrazione, in caso di danni derivanti da fenomeni esondazione; pertanto il soggetto interessato dovrà presentare idonea dichiarazione di rinuncia alla rivalsa in sede di presentazione della richiesta del permesso a costruire. Per le aree in classe 3H2b valgono inoltre le limitazioni d'uso previste dal D.Lgs 152/2006 "Norme in materia ambientale".

Indagini di approfondimento necessarie: per le opere ammesse si rendono necessari studi di compatibilità idraulica locale (SCI) secondo l'allegato 4 ai Criteri regionali per le aree a rischio di esondazione e la Direttiva dell'Autorità di bacino "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle Fasce A e B", finalizzati alla verifica delle interferenze tra assetto idraulico ed intervento in progetto con individuazione delle opere di mitigazione del rischio sia in fase di cantiere che ad opere ultimate.

Gli studi di compatibilità idraulica, partendo dalla valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio già svolta e recepita nel PGT, ne dovranno approfondire gli esiti utilizzando come dati tecnici di input tutte le informazioni del PGRA. Detto studio può essere omesso per gli interventi edilizi che non modificano il regime idraulico dell'area allagabile, accompagnando il progetto da opportuna asseverazione del progettista (es. recupero di sottotetti, interventi edilizi a quote di sicurezza).

I risultati dello studio di approfondimento idraulico a supporto del PGT potranno essere utilizzati come riferimento per definire, a livello progettuale preliminare, le quote di allagamento locale, e per determinare le quote di imposta delle superfici abitabili.

Alla luce di quanto sopra riportato, si è predisposto uno studio di compatibilità idraulica per l'opera in progetto.

3.1.1 INQUADRAMENTO VINCOLI AMBIENTALI - PGT COMUNE DI MONZA

Le aree in cui sono presenti ed in cui saranno realizzati bacini di laminazione con pozzi di infiltrazione non risultano interferire con zone di rispetto.

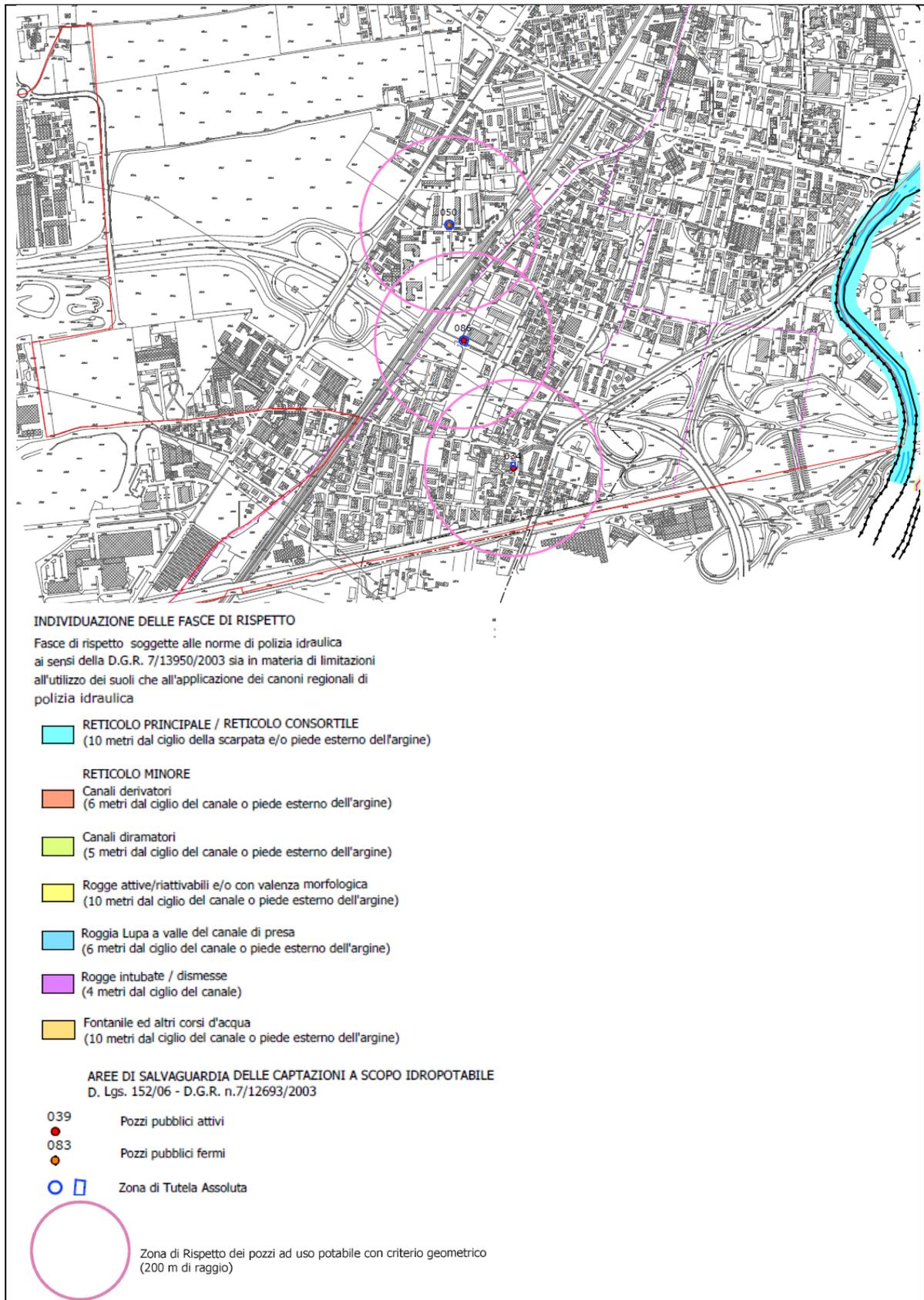


Figura 3.3: Tav 7 c Parte geologica PGT Monza – vincoli ambientali.

La Zona di rispetto dei 200 m è sottoposta alle limitazioni d'uso previste dall'art. 94 commi 4 e 5 del D.Lgs. 3 aprile 2006 n. 152 "Norme in materia ambientale" e dalla d.g.r. 10 aprile 2003 n. 7/12693 "Decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152 e successive modifiche, art. 21, comma 5 – Disciplina delle aree di salvaguardia delle acque sotterranee destinate al consumo umano".

Comma 4 La zona di rispetto è costituita dalla porzione di territorio circostante la zona di tutela assoluta, da sottoporre a vincoli e destinazioni d'uso tali da tutelare qualitativamente e quantitativamente la risorsa idrica captata e può essere suddivisa in zona di rispetto ristretta e zona di rispetto allargata, in relazione alla tipologia dell'opera di captazione e alla situazione locale di vulnerabilità e rischio della risorsa. In particolare, nella zona di rispetto sono vietati l'insediamento dei seguenti centri di pericolo e lo svolgimento delle seguenti attività:

- a) dispersione di fanghi e acque reflue, anche se depurati;
- b) accumulo di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi;
- c) spandimento di concimi chimici, fertilizzanti o pesticidi, salvo che l'impiego di tali sostanze sia effettuato sulla base delle indicazioni di uno specifico piano di utilizzazione che tenga conto della natura dei suoli, delle colture compatibili, delle tecniche agronomiche impiegate e della vulnerabilità delle risorse idriche;
- d) dispersione nel sottosuolo di acque meteoriche provenienti da piazzali e strade;
- e) aree cimiteriali;
- f) apertura di cave che possono essere in connessione con la falda;
- g) apertura di pozzi ad eccezione di quelli che estraggono acque destinate al consumo umano e di quelli finalizzati alla variazione dell'estrazione ed alla protezione delle caratteristiche quali-quantitative della risorsa idrica;
- h) gestione di rifiuti;
- i) stoccaggio di prodotti ovvero sostanze chimiche pericolose e sostanze radioattive;
- l) centri di raccolta, demolizione e rottamazione di autoveicoli;
- m) pozzi perdenti;
- n) pascolo e stabulazione di bestiame che ecceda i 170 Kg/ettaro di azoto presente negli affluenti, al netto delle perdite di stoccaggio e distribuzione. È comunque vietata la stabulazione di bestiame nella zona di rispetto ristretta.

Inoltre la D.G.R. 7/12693 del 10.4.2003 formula i criteri e gli indirizzi in merito:

- alla realizzazione di strutture e all'esecuzione di attività ex novo nelle zone di rispetto dei pozzi esistenti;
- all'ubicazione di nuovi pozzi destinati all'approvvigionamento potabile.

In particolare, in riferimento alla pianificazione comunale, l'allegato 1, punto 3 di cui alla delibera sopraccitata, fornisce le direttive per la disciplina delle seguenti attività all'interno delle zone di rispetto:

- realizzazione di fognature;
- realizzazione di opere e infrastrutture di edilizia residenziale e relativa urbanizzazione;
- realizzazione di infrastrutture viarie, ferroviarie ed in genere infrastrutture di servizio;
- pratiche agricole.

Si riporta di seguito un estratto da tale norma:

I nuovi tratti di fognatura da situare nelle zone di rispetto devono:

- *costituire un sistema a tenuta bidirezionale, cioè dall'interno verso l'esterno e viceversa, e recapitare esternamente all'area medesima;*
- *essere realizzati evitando, ove possibile, la presenza di manufatti che possano costituire elemento di discontinuità, quali i sifoni e opere di sollevamento.*

Ai fini della tenuta, tali tratti potranno in particolare essere realizzati con tubazioni in cunicolo interrato dotato di pareti impermeabilizzate, avente fondo inclinato verso l'esterno della zona di rispetto, e corredato di pozzetti rompitratta i quali dovranno possedere analoghe caratteristiche di tenuta ed essere ispezionabili, oggetto di possibili manutenzioni e con idonea capacità di trattenimento. In alternativa, la tenuta deve essere garantita con l'impiego di manufatti in materiale idoneo e valutando le prestazioni nelle peggiori condizioni di esercizio, riferite nel caso specifico alla situazione di livello liquido all'intradosso dei chiusini delle opere d'arte.

Nella zona di rispetto di una captazione da acquifero non protetto:

- *non è consentita la realizzazione di fosse settiche, pozzi perdenti, bacini di accumulo di liquami e impianti di depurazione;*
- *è in generale opportuno evitare la dispersione di acque meteoriche, anche provenienti da tetti, nel sottosuolo e la realizzazione di vasche di laminazione e di prima pioggia.*

Per tutte le fognature nuove (principali, secondarie, allacciamenti) insediate nella zona di rispetto sono richieste le verifiche di collaudo. I progetti e la realizzazione delle fognature devono essere conformi alle condizioni evidenziate e la messa in esercizio delle opere interessate è subordinata all'esito favorevole del collaudo.

Inoltre gli interventi insistono su aree con vulnerabilità alta o elevata dell'acquifero per le quali l'art. 9 delle norme tecniche della componente geologica prescrive:

Ai fini dell'applicazione di quanto richiesto dal R.R. 7/2017 per la redazione dei singoli progetti di invarianza idraulica e idrologica a corredo dei diversi interventi dovrà essere applicata la vigente normativa nazionale e regionale tenuto anche conto del Regolamento del Servizio Idrico Integrato del 23/06/2016.

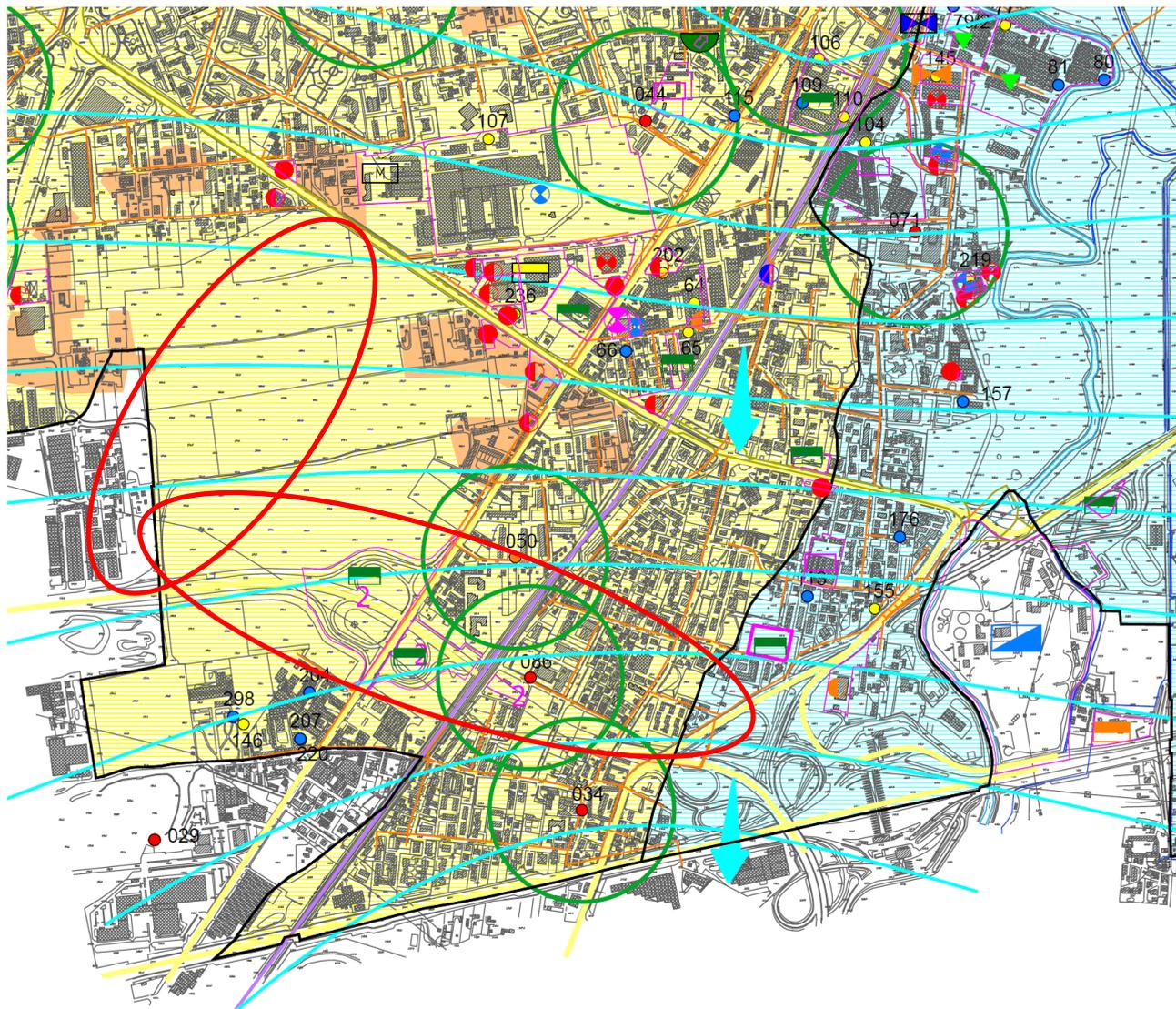
Con riferimento ai contenuti del PGT, si sottolinea che seppure il territorio di pianura del Comune di Monza possieda generalmente una discreta predisposizione all'infiltrazione delle acque negli strati superficiali del sottosuolo si debba in ogni caso tenere conto anche di alcune peculiari criticità e vulnerabilità che lo stesso territorio presenta.

Si segnala in proposito la possibile presenza in superficie di terreni fini per spessori che possono raggiungere alcuni metri di profondità da piano campagna e la locale presenza di falde acquifere a soggiacenza limitata.

Inoltre ogni studio che valuti l'invarianza idraulica e idrologica dovrà attentamente considerare la possibile interazione con le "Aree vulnerabili dal punto di vista idraulico" e "Aree vulnerabili dal punto di vista idrogeologico" e con le "Aree vulnerabili per la suscettività al fenomeno degli occhi pollini" (rif. Sintesi degli elementi conoscitivi Tavv.8).

Si rimanda per maggiori futuri approfondimenti alla predisposizione finale dello Studio Comunale Gestione del rischio idraulico di cui all'art.14 del regolamento regionale n°7 del 23 Novembre 2017 (oggetto di specifico incarico in corso a Brianzacque).

Si richiede in ogni caso che, su tutto il territorio comunale, i progetti che prevedano lo smaltimento delle acque superficiali nel sottosuolo siano accompagnati da una relazione idrogeologica che verifichi in maniera puntuale la compatibilità dell'intervento con le caratteristiche locali (permeabilità dei terreni, presenza e soggiacenza di eventuali falde superficiali, presenza di aree allagabili, presenza di occhi pollini, ecc.).



Grado di vulnerabilità						Caratteristiche degli acquiferi
EE	E	A	M	B	BB	
						Acquifero libero in materiale alluvionale, privo di copertura superficiale, in corrispondenza dei depositi fluviali dell'Unità Postglaciale, con corso d'acqua sospeso rispetto alla superficie piezometrica. Soggiacenza < 10 m
						Acquifero libero in materiale alluvionale, privo di copertura superficiale, in corrispondenza dei depositi fluviali dell'Unità Postglaciale, con corso d'acqua sospeso rispetto alla superficie piezometrica. Soggiacenza compresa tra 10 e 35 m
						Acquifero libero in materiale fluvioglaciale, parzialmente protetto dai depositi fini superficiali di ridotto spessore, in corrispondenza dei depositi dell'Allogruppo di Besnate. Soggiacenza < 10 m
						Acquifero libero in materiale fluvioglaciale, parzialmente protetto dai depositi fini superficiali di ridotto spessore, in corrispondenza dei depositi dell'Allogruppo di Besnate. Soggiacenza compresa tra 10 e 35 m
						Acquifero libero in materiale fluvioglaciale, con locale presenza di copertura superficiale, in corrispondenza dei depositi dell'Allogruppo di Besnate. Soggiacenza compresa tra 10 e 35 m.
						Acquifero libero in materiale fluvioglaciale, protetto superficialmente dall'alterazione limoso-argillosa dei depositi dell'Alloformazione di Binago.

EE:estremamente elevato E:elevato A:alto
M:medio B:basso BB:molto basso

Figura 3.4: Tav 4 Parte geologica PGT Monza – Carta vulnerabilità. Con ellissi rosso le aree di intervento.

3.1.2 STRUTTURA IDROGEOLOGICA

La struttura idrogeologica dell'area è costituita da depositi alluvionali recenti e antichi, denominati fluvio glaciali Wurmiani, in cui le frazioni limose e argillose risultano particolarmente scarse.

Questi sedimenti con spessore di alcune decine di metri, costituiscono in generale la parte superiore dell'acquifero tradizionale.

In genere, l'elevata permeabilità dell'unità geologica consente la ricarica dell'acquifero da parte delle acque meteoriche e di quelle di infiltrazione dei canali e rogge artificiali.

La conducibilità idraulica di questa unità dai dati ricavati dalla bibliografia, risulta compresa tra 10^{-3} e 10^{-4} m/s e può raggiungere valori di portata specifica di 20 l/s.m.

Le specifiche prove di permeabilità Lefranc eseguite nelle zone indagate hanno evidenziato valori di K leggermente inferiori ai dati sopracitati, con variabilità locale a seconda anche della profondità dal piano campagna.

Si rimanda al successivo paragrafo successivo per un esame puntuale dei valori di permeabilità misurati.

La falda contenuta in questi depositi tradizionalmente non è confinata.

3.1.3 ACQUIFERO TRADIZIONALE

L'andamento generale del livello della falda tradizionale evidenzia linee di flusso con direzione NNO-SSE con valori di soggiacenza elevati nella zona in esame Nord Milano (20 - 30 m) che diminuiscono progressivamente verso sud, annullandosi in pratica lungo la linea dei fontanili (figura successiva).

La parte centrale, occupata in prevalenza dall'abitato di Milano e dalla sua zona periferica risente della forte richiesta d'acqua del capoluogo e questo provoca una depressione piezometrica che influenza notevolmente la morfologia delle isolinee per un settore esteso oltre 20 Km.

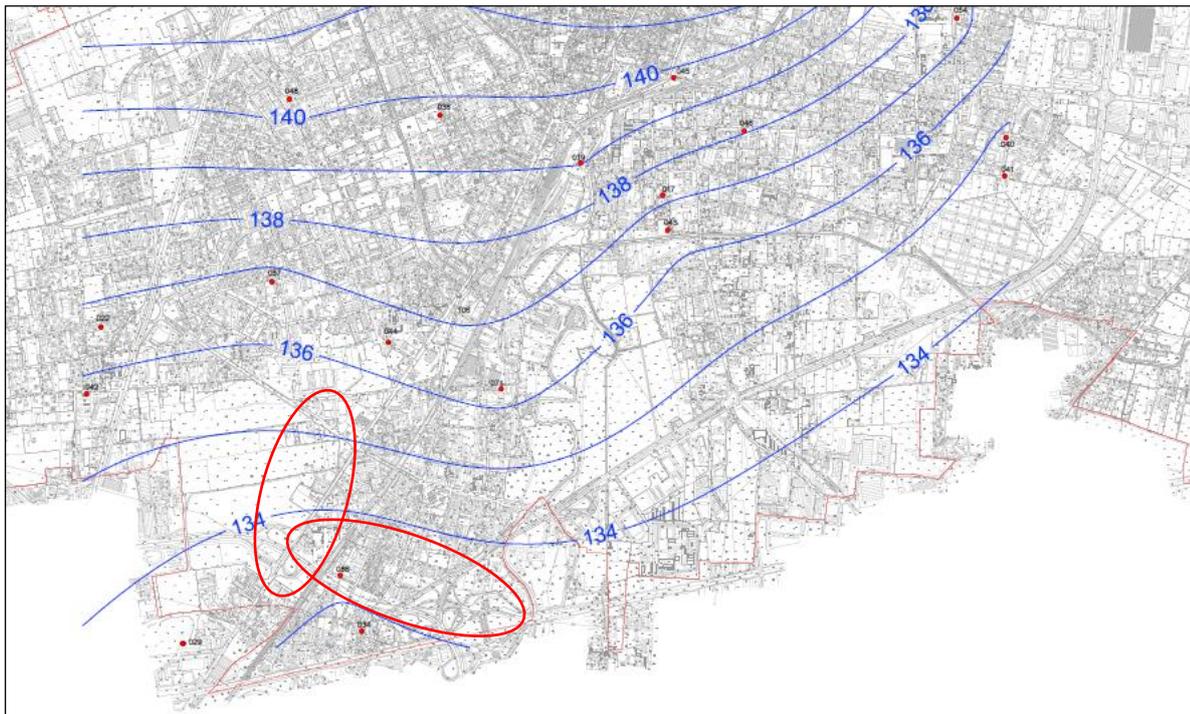


Figura 3.5: Linee isopiezometriche acquifero tradizionale al maggio 2016 e relativa quota (m s.l.m.) – PGT Comune di Monza - ed indicazione dell'area d'intervento.

La depressione piezometrica ha raggiunto il suo massimo negli anni '80. Dagli anni '90 in poi, a seguito del minor fabbisogno delle acque per uso industriale, è in atto un'inversione di tendenza.

La falda si sta progressivamente innalzando tendendo a raggiungere nelle zone a Sud di Milano i livelli naturali.

Nel complesso la falda rilevata dalla campagna 2021 si trova a quota compresa tra 130m e 136m s.l.m. con direzione di deflusso NS e che in termini di soggiacenza corrisponde a ~- 20.0 m dal p.c.

Nelle aree in esame la permeabilità rilevata nei piezometri installati nelle vicinanze dei sondaggi, risulta al 2021 (Figura 3.7):

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	k	data
1		1.00-1.50					6.13E-06	06/12/2021
2			2.50-3.00				8.77E-06	23/11/2021
3		3.50-4.00					8.02E-06	06/12/2021
4					5.00-5.50		1.44E-05	03/12/2021
5			5.00-5.50				1.21E-05	23/11/2021
6				6.50-7.00			1.17E-05	29/11/2021
7	8.00-8.50						1.58E-04	09/12/2021
8					8.50-9.00		1.78E-04	03/12/2021
9				9.00-9.50			1.70E-04	29/11/2021
10	10.50-11.00						3.41E-04	09/12/2021
11						11.00-11.50	5.68E-04	07/12/2021
12						14.50-15.00	4.08E-04	07/12/2021

Tabella 3.6: Permeabilità determinata con i sondaggi del 2021.

L'ordine di grandezza della soggiacenza rilevata nella campagna di sondaggio del 2021 risulta comparabile ai dati elaborati per la redazione del PGT del comune di Monza nel maggio 2016 (Figura 3.5).



Figura 3.7: Individuazione punti di sondaggio – campagna 2021.

4 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area milanese è solcata da un reticolo idrografico naturale e da una fitta rete di canalizzazioni artificiali create per uso agricolo e industriale. Inoltre l'elevato sviluppo industriale di questa parte del territorio ha favorito la creazione di un fitto reticolo artificiale (Figura 4.1).

Progressivamente con l'aumento dell'urbanizzazione parte del reticolo irriguo dell'area è stato dismesso.

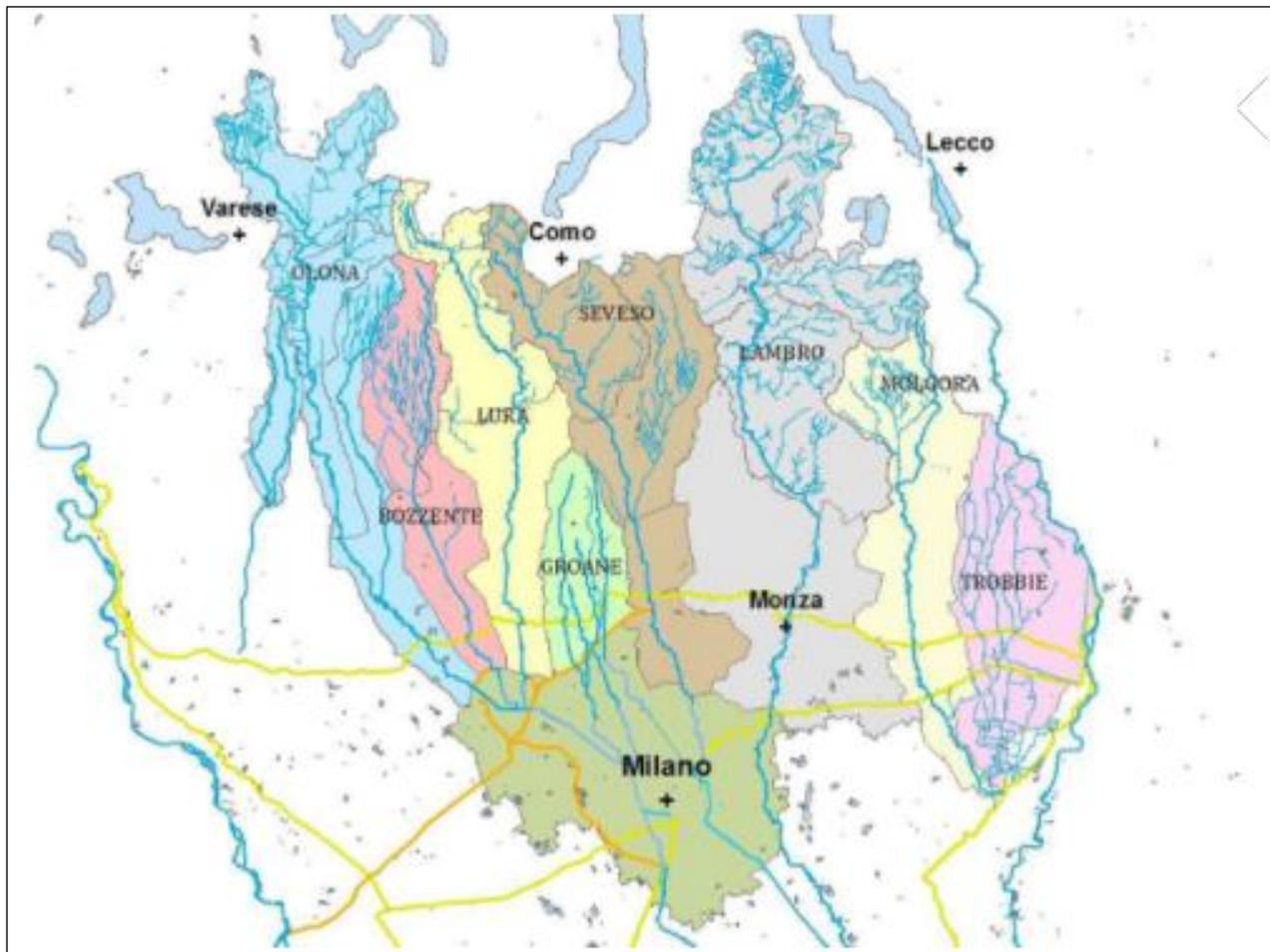


Figura 4.1: Schema dell'area del Nord – Milanese con: corsi d'acqua principali (in blu, in azzurro le principali parti tombinate), canali artificiali a scopo irriguo (in giallo), canali a scopo di gestione delle piene (in arancione) – Fonte: regione.lombardia.it

I corsi d'acqua naturali creano un reticolo idrografico con allineamento in senso Nord-Sud.

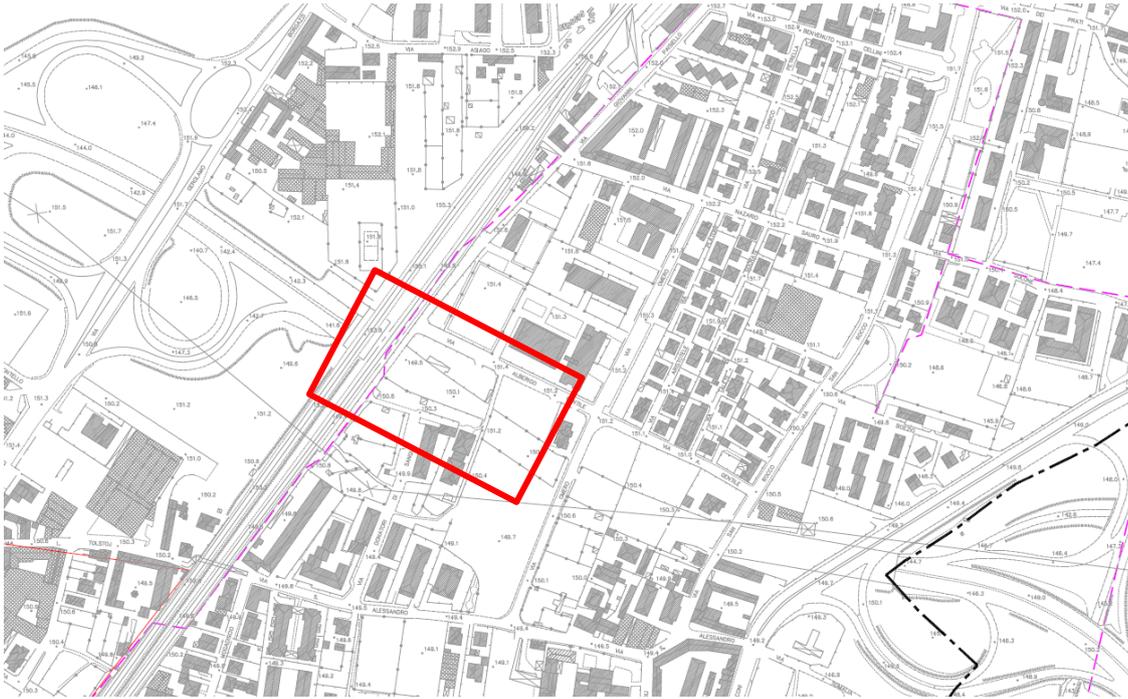
L'andamento Nord-Sud si accorda con la morfologia della media pianura con superficie debolmente inclinata verso Sud dello 0,3%.

Il principale elemento idrografico nell'intorno dell'intervento è rappresentato dal fiume Lambro, che scorre ad Est dell'area di studio.

Si riporta l'inquadramento dei principali corsi d'acqua e del RIM.

4.1 RIM – RETICOLO IDRICO MINORE

Di seguito uno stralcio dalla planimetria riportante il Reticolo Idrico Minore dal PGT Monza.



STATO DI ATTIVITA'

- Tratti attivi e/o riattivabili in condizioni di piena
- - - - - Tratti dismessi / abbandonati (privi di funzionalità idraulica)
non inseriti nel reticolo idrografico minore
- · - · - · - Tratti intubati / dismessi (riattivabili in condizioni di piena)
- · · · · - Tratti intubati attivi

RETIKOLO IDROGRAFICO PRINCIPALE
(All. A della D.G.R. 7/13950/2003)

N. d.g.r. 7/13950/02 All. A	Denominazione
MI014	Fiume Lambro
MI031	Canale Villoresi

RETIKOLO IDROGRAFICO MINORE
(Allegato B della D.G.R. 7/13950 del 1/08/2003)

Canali irrigui (gestione: Consorzio di Bonifica Est Ticino Villoresi)

- Canali derivatori (secondo ordine)
- Canali diramatori (terzo ordine)

Figura 4.2: stralcio dalla planimetria riportante il Reticolo Idrico Minore dal PGT Monza.



Figura 4.3: Reticolo idrico (da Geoportale Regione Lombardia).

Emerge la presenza di una linea tratteggiata. Considerando la legenda appare essere un canale irriguo di terzo ordine dismesso. Di fatti tale corso d'acqua non viene poi riportato nel reticolo idrico ufficiale del Comune di Monza.

Il tracciato del corso d'acqua è riportato al di sotto della linea ferroviaria e dall'analisi dei luoghi non emerge la sua presenza a cielo aperto.

L'interferenza ubicata in corrispondenza della linea ferroviaria vedrà nello stato di progetto il passaggio dell'infrastruttura viaria mediante l'utilizzo della galleria già esistente senza ulteriori interventi, pertanto non vi sarà interferenza.

Lungo l'ampliamento della viabilità esistente ed il nuovo tracciato non sono presenti ulteriori rogge o corsi d'acqua.

4.2 FIUME LAMBRO

4.2.1 IL BACINO

Il Lambro scorre a circa 500 m ad est dall'inizio dell'intervento infrastrutturale proposto.

Il fiume Lambro ha origine a Magreglio, 1.300 metri s.l.m., e dopo un percorso di circa 130 km sfocia nel Po a Senna Lodigiana. La superficie complessiva del bacino del Lambro, chiuso alla confluenza con il Deviatore Redefossi, è pari a circa 553 km², dei quali 199 km² di aree urbane e 354 km² di aree extraurbane.

Il Lambro si sviluppa in direzione nord-sud per un primo tratto sino a Canzo, poi in direzione est-ovest sino a Ponte Lambro e quindi nuovamente in direzione nord-sud sino a sfociare nel lago di Pusiano. Da qui riprende in direzione prevalente nord-sud fino a Villasanta, prima di attraversare il Parco di Monza, attraversando un fondovalle prevalentemente incassato.

La zona che si estende dal Parco di Monza a Sesto San Giovanni fino alle porte di Milano è caratterizzata da un corso ricco di anse e meandri, circondato fin sulle sponde da una serie quasi ininterrotta di insediamenti abitativi e produttivi che hanno sottratto aree destinate alla naturale espansione del fiume.

Più a valle, nella campagna a est di Milano, il Lambro scorre in un alveo ordinario tendenzialmente rettilineo, contenuto in arginature artificiali che in alcune zone ne impediscono l'espansione nelle aree circostanti.

Nel tratto compreso tra la confluenza con il Deviatore Redefossi e il Po, il Lambro scorre in terreni pianeggianti nei quali è presente un vasto reticolo irriguo. A Sant'Angelo Lodigiano riceve il Lambro Meridionale, che a Milano ha raccolto le acque dell'Olonà.

Il bacino del Lambro può essere suddiviso sostanzialmente in quattro parti:

1.Lago, a monte del lago di Pusiano, con numerosi piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, con pendenze generalmente elevate (torrenti Lambretto, Valle di Rezzago, Foce, Ravella, Bistonda, Bova). Al termine di questa parte il fiume diminuisce la sua pendenza sino a confluire nel lago di Pusiano, dove deposita notevoli quantità di detriti che ne caratterizzano il conoide; in tale porzione di bacino può anche essere incluso il bacino afferente al lago di Alserio che ha un comportamento simile al lago di Pusiano.

Il Torrente Lambro confluito nel lago di Pusiano, ne esce con un sistema doppio: un emissario naturale nel quale confluiscono anche le acque in uscita dal lago di Alserio; e un canale artificiale, il Cavo Diotti, regolato da un sistema di paratoie, recentemente interessato lavori di ristrutturazione.

2.Lambro naturale, tra il lago di Pusiano e il comune di Villasanta, il corso d'acqua assume carattere più regolare nonostante mantenga alcune caratteristiche torrentizie con versanti acclivi o mediamente acclivi. Il grado di urbanizzazione rimane ridotto.

In questa parte del bacino, in sinistra idraulica sono presenti alcuni affluenti, tra cui: Bevera di Molteno, Bevera di Veduggio, Bevera di Renate, Roggia Brovada, Roggia Pegorino e Roggia Molgorana.

3.Lambro urbano, tra il comune di Monza e la periferia sud-est di Milano, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi, con versanti pressoché pianeggianti ed un'elevata urbanizzazione. Il contributo di tale porzione di bacino deriva interamente dagli scaricatori delle reti fognarie comunali e consortili.

4.Lambro irriguo, tra la confluenza con il Deviatore Redefossi e il fiume Po, costituito da terreni pianeggianti nei quali è presente un vasto reticolo irriguo. All'interno di tale bacino vi è la confluenza tra il Lambro e il Lambro Meridionale.

Il deflusso della porzione denominata Lago è ovviamente influenzato dai fenomeni d'invaso e svasso del lago di Pusiano e del lago di Alserio, pertanto tale porzione di bacino produce un idrogramma in ingresso al Lambro con picchi poco accentuati e durate delle onde di piena molto prolungate. Nella zona Lambro naturale i deflussi in ingresso al Lambro dipendono prevalentemente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi della zona Lambro urbano risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle fognature comunali e consortili. Per quanto riguarda la zona Lambro irriguo i deflussi sono influenzati dal reticolo irriguo.

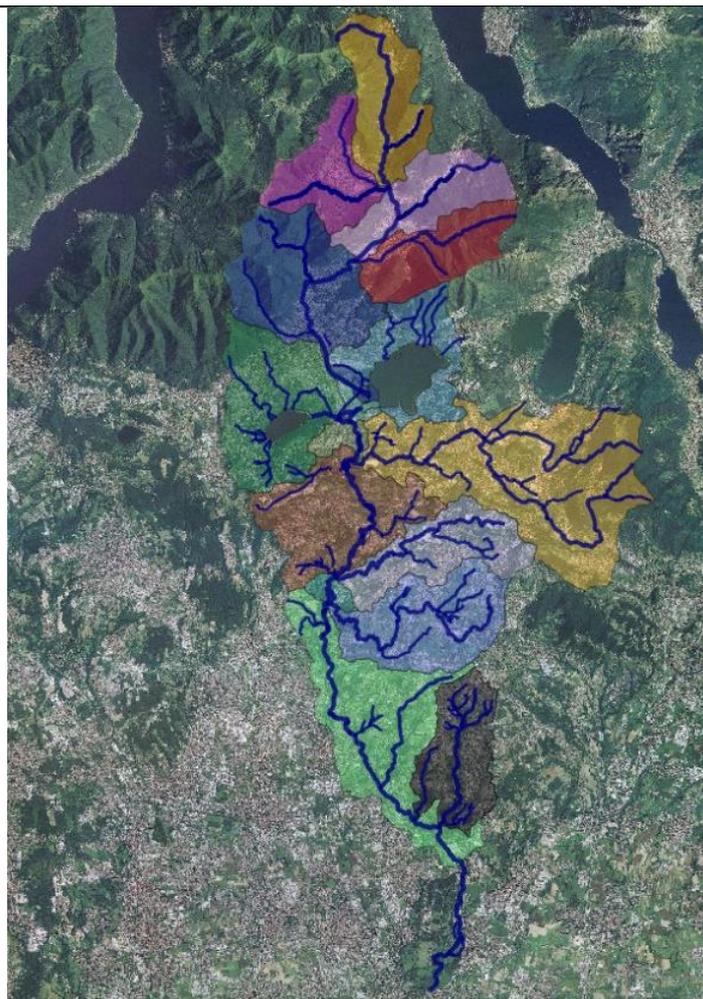


Figura 4.4: inquadramento bacino Lambro - "individuazione dei bacini sotto- – Parco del Lambro-Olona

4.2.2 CAVO DIOTTI

La storica diga di Pusiano, Cavo Diotti, costruita nel 1812 è stata oggetto di lavori di ristrutturazione. Dal 19 dicembre 2008 la Regione Lombardia è diventata proprietaria del Cavo Diotti, del fabbricato della Casa del Camparo e di tutti i terreni annessi ivi compreso il canale di adduzione e di scarico della diga. Contemporaneamente all'acquisizione del manufatto la Regione Lombardia ha affidato la gestione operativa delle opere al Parco Regionale della Valle del Lambro.

La funzione principale della diga Cavo Diotti è quella di trattenere le piene del fiume Lambro e al contempo mantenere basso il livello del Lago di Pusiano, al fine di evitare l'allagamento anche dei principali comuni attraversati dal Lambro come Monza, Cologno Monzese e Milano.

Il Cavo Diotti è l'opera idraulica che a partire da inizio '800 regola il lago di Pusiano e di conseguenza il fiume Lambro. L'opera è stata via via abbandonata fino al 2008 quando è stata acquisita dalla Regione Lombardia per una sua successiva ristrutturazione.

Il manufatto, che si trova nel comune di Merone (provincia di Como, CO), è costituito da tre elementi:

- un primo tratto di canale a cielo aperto che collega il lago al manufatto di regolazione;
- un edificio in cui sono alloggiati le opere di regolazione della diga;
- un ultimo tratto costituito da un canale interrato.



Figura 4.5: Posizione del canale Cavo Diotti

Nel caso di particolari eventi meteorologici, il Cavo Diotti viene chiuso per diminuire la portata del fiume Lambro già ingrossato da tutti i suoi affluenti per poi riaprire lo scarico della diga quando nel fiume Lambro è passata l'ondata di piena.

“Fin qui la gestione sembra semplice. Tuttavia la chiusura dello scarico comporta il rapido innalzamento del livello del lago sulle cui sponde esistono gli abitati di Merone, Rogeno, Bosisio Parini e Pusiano. Per questo motivo durante gli eventi particolarmente intensi, quasi sempre concentrati nei mesi di novembre-dicembre e aprile-maggio, la regolazione è un continuo aprire e chiudere di paratoie di giorno e di notte spesso per diversi giorni di seguito.

Pertanto, in breve, si tengono aperte o parzialmente aperte le paratoie fintanto che il Lambro nella zona fino a Monza è in grado di ricevere le acque di scarico, poi si chiude per il periodo della piena e poi si riapre ancora” (fonte: cavodiotti.it)

SUPERFICIE LAGO	5.50 MILIONI DI METRI QUADRATI
Volume di invaso	12.705 milioni di metri cubi
Volume d'invaso massimo prima dell'esondazione	18 milioni di metri cubi
Quota zero dell'idrometro di riferimento	+260.05 m slm

Tabella 4.6: Dimensioni diga di Pusiano.

“Immaginiamo per un momento che non ci sia la diga di Pusiano. In un evento meteo significativo il Triangolo Lariano, quel complesso montuoso posto tra Como, Lecco e Bellagio, è in grado di riversare nella valle una portata stimata di circa 220 m³/s. Se a questo aggiungiamo le portate degli affluenti che si riversano nel fiume Lambro nel tratto tra il Triangolo Lariano e Monza la portata del fiume Lambro raggiungerebbe facilmente la portata di picco di circa 300 m³/s. Il problema è che nella valle del Lambro, ad esempio nella zona monzese, con portate di soli 90 m³/s si hanno significative esondazioni che interessano un territorio abitato da decine di migliaia di persone. Da questa breve descrizione appare chiara la funzione strategica della diga: trattenere le acque provenienti dalle montagne prima che queste arrivino nei centri abitati, rilasciandola nei tempi e nei momenti più opportuni”

I lavori di ristrutturazione hanno riguardato:

- Manutenzione del canale di adduzione;
- Spostamento delle paratoie;

- Realizzazione della grigliatura;
- Rifacimento delle bocche sotto la casa di guardia;
- Stabilizzazione del tratto tombinato (tombotto), attraverso la realizzazione di una corazzatura del pavimento in pietra e di spritzbeton sulla volta di copertura.

4.2.3 IL LAMBRO IN COMUNE DI MONZA

Il Lambro percorre Monza in senso Nord – Sud.

Attraversa il Parco di Monza con andamento meandriforme, collocandosi in un fondovalle dai contorni morfologici sempre meno evidenti, in cui le opere idrauliche e le protezioni di sponda sono minime, appena sufficienti a non far migrare i meandri. A valle del Parco il fiume attraversa il centro storico presentando un alveo completamente artificializzato, da origine al corso artificiale del Lambretto ed è sovrappassato con ponte canale dal Canale Villoresi, da cui riceve acque pulite; più a valle riprende il suo corso a meandri ed infine esce dalla città affiancando l'area del depuratore di S. Rocco ed entrando nel Comune di Cologno Monzese, in un settore con siti in avanzato degrado posto ai confini meridionali della area cittadina.

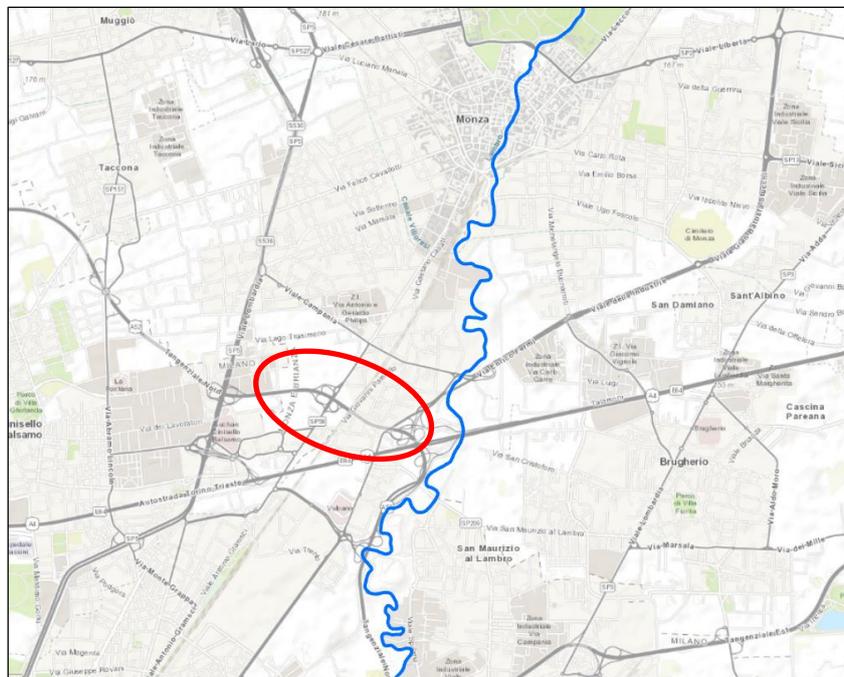


Figura 4.7: Fiume Lambro ed indicazione dell'area d'intervento.

5 INQUADRAMENTO DEL RISCHIO E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA PER L'INTERVENTO IN PROGETTO

5.1 PIANIFICAZIONE A SCALA DI BACINO E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO

5.1.1 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PAI) consolida e unifica la pianificazione di bacino per l'assetto idrogeologico: esso coordina le determinazioni assunte con i precedenti stralci di piano e piani straordinari (PS 45: "Piano stralcio per la realizzazione degli interventi necessari al ripristino dell'assetto idraulico, alla eliminazione delle situazioni di dissesto idrogeologico e alla prevenzione dei rischi idrogeologici nonché per il ripristino delle aree di esondazione", PSFF: "Piano stralcio delle Fasce Fluviali", PS 267: "Piano straordinario per le aree a rischio idrogeologico molto elevato"), apportando in taluni casi le precisazioni e gli adeguamenti necessari a garantire il carattere interrelato e integrato proprio del piano di bacino.

Rispetto ai Piani precedentemente adottati, il PAI contempla per l'intero bacino:

- il completamento del quadro degli interventi strutturali a carattere intensivo sui versanti e sui corsi d'acqua, rispetto a quelli già individuati nel PS45;
- l'individuazione del quadro degli interventi strutturali a carattere estensivo;
- la definizione degli interventi a carattere non strutturale, costituiti dagli indirizzi e dalle limitazioni d'uso del suolo nelle aree a rischio idraulico e idrogeologico e quindi;
- il completamento, rispetto al PSFF, della delimitazione delle fasce fluviali sui corsi d'acqua principali del bacino;
- l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico, nella parte del territorio collinare e montano non considerata nel PS267.

Il PAI ha lo scopo di assicurare, attraverso la programmazione di opere strutturali, vincoli, direttive, la difesa del suolo rispetto al dissesto di natura idraulica e idrogeologica e la tutela degli aspetti ambientali a esso connessi, in coerenza con le finalità generali ed i principi indicati all'art. 3 della legge 183/1989 (Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo) e con i contenuti del Piano di bacino fissati all'art. 17 della stessa legge.

Il Piano definisce e programma le azioni attraverso la valutazione unitaria dei vari settori di disciplina, con i seguenti obiettivi:

- garantire un livello di sicurezza adeguato sul territorio;
- conseguire un recupero della funzionalità dei sistemi naturali (anche tramite la riduzione dell'artificialità conseguente alle opere di difesa), il ripristino, la riqualificazione e la tutela delle caratteristiche ambientali del territorio, il recupero delle aree fluviali a utilizzi ricreativi;
- conseguire il recupero degli ambiti fluviali e del sistema idrico quali elementi centrali dell'assetto territoriale del bacino idrografico;
- raggiungere condizioni di uso del suolo compatibili con le caratteristiche dei sistemi idrografici e dei versanti, funzionali a conseguire effetti di stabilizzazione e consolidamento dei terreni e di riduzione dei deflussi di piena.

Relativamente all'area in esame si ricorda quanto segue.

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po, con delibera n. 3/2003 del 25.2.2003, ha adottato un "Progetto di variante al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri il 24 maggio 2001 - Fasce fluviali del fiume Lambro nel tratto dal lago di Pusiano alla confluenza con il deviatore Redefossi", successivamente pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n. 189 del 16.8.2003.

Le fasce fluviali adottate sono state modificate dall'Autorità di Bacino del fiume Po, con variante, assunta in data 2.7.2003, che ha previsto un'estensione della fascia C e la modifica delle fasce A e B.

Secondo tale variante, parte delle aree oggetto di intervento sono comprese tra il limite di progetto della Fascia B e il limite della Fascia C del fiume Lambro.

Le Norme tecniche di attuazione del PAI prevedono che, per le aree di Fascia C delimitate dal segno grafico indicato come limite tra Fascia B di Progetto e Fascia C, siano applicate integralmente le norme di Fascia B del PAI. In particolare, per le opere pubbliche e di interesse pubblico è prevista la verifica di compatibilità idraulica secondo la Direttiva dell'Autorità di bacino Verifica della Compatibilità Idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico in fascia A e B (approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 dell'11.5.1999 ed aggiornata con delibera n. 10 del 5.4.2006).

La Regione Lombardia, con DGR n. VIII/1566 del 22.12.2005 (Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio), aggiornata con DGR n. IX/2616 del 30.11.2011, ha definito dei criteri di valutazione della compatibilità idraulica nelle aree a rischio idraulico, complementari a quelli contenuti nella Direttiva citata, e indirizzati ai casi in cui la normativa di piano di bacino prevede approfondimenti a scala di maggiore dettaglio, quali i territori compresi tra il limite di progetto della Fascia B e il limite della Fascia C (ai sensi dell'art. 31 comma 5 delle NdA del PAI).

Nella Figura 5.1 è riportato lo stralcio della Tavola B6c1 – Milano Nord-Est - LAMBRO 13 della Variante al Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico approvato con DPCM 24 maggio 2001 - Fasce Fluviali del fiume Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il Deviatore Redefossi, adottata con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del Po n. 2/2004 del 03.03.2004. Si rileva che parte dell'area di intervento è compresa tra il limite di progetto della Fascia B e il limite della Fascia C.

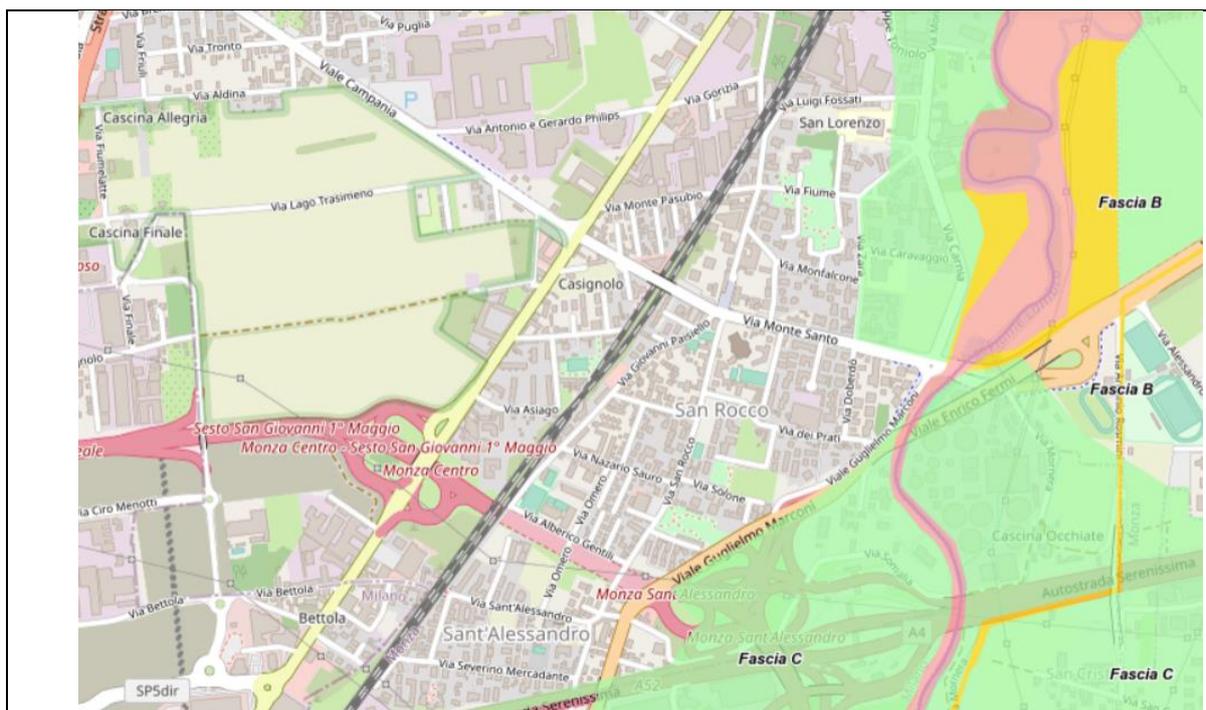


Figura 5.1: Estratto Fasce Fluviali del PAI: tavola B6c1 – Sesto San Giovanni - LAMBRO 13

Il tratto di collegamento ad est tra viabilità esistente e galleria di progetto infatti risulta situato in fascia C.

5.1.2 PIANO GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI

Il PGRA è lo strumento previsto dalla Direttiva relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni, finalizzato a ridurre gli impatti negativi delle alluvioni sulla salute, l'economia e l'ambiente e favorire, dopo un evento alluvionale, un tempestivo ritorno alla normalità.

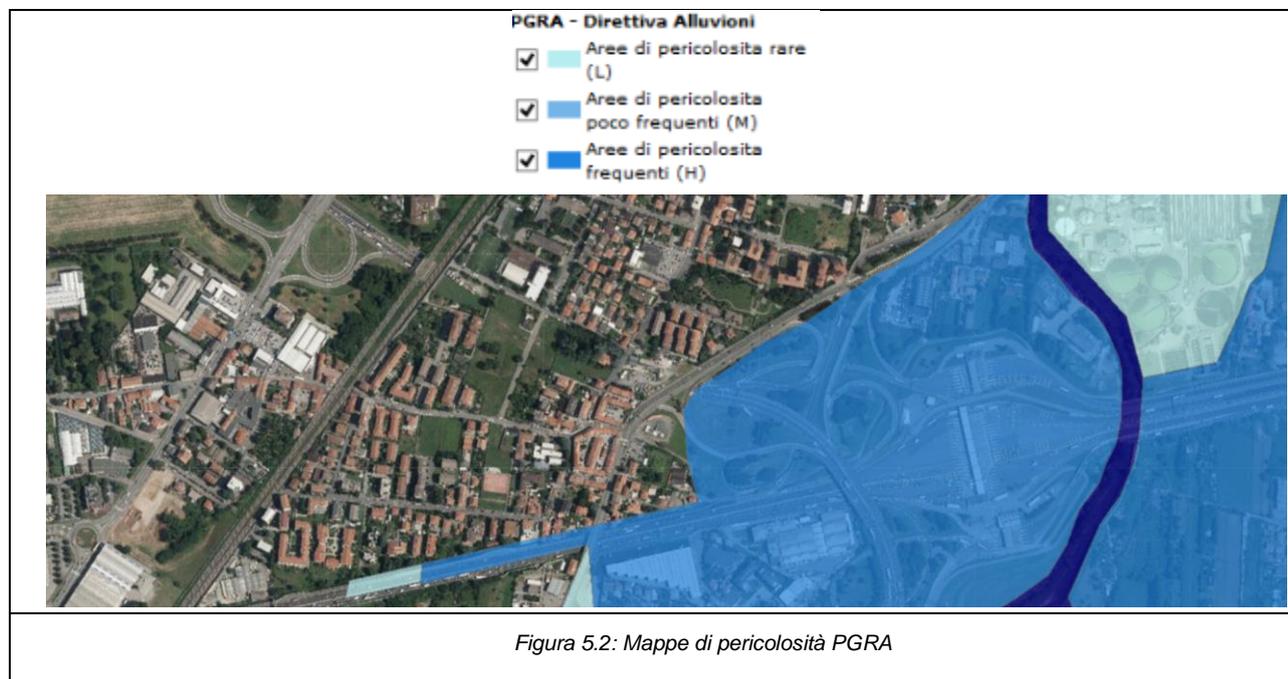
Il piano definisce la strategia generale a livello di distretto, individua gli obiettivi distrettuali e le misure per orientare e fare convergere verso il comune obiettivo della sicurezza delle popolazioni e del territorio tutti gli strumenti di pianificazione distrettuale, territoriale e di settore vigenti compresa la pianificazione di emergenza di competenza del sistema della Protezione Civile. Definisce inoltre le priorità d'azione per le Aree a Rischio Potenziale Significativo, le infrastrutture strategiche, i beni culturali e le aree protette esposte a rischio, per i quali gli obiettivi generali di distretto devono essere declinati per mitigare da subito le criticità presenti con specifiche misure.

Tale strumento, che verrà periodicamente verificato ed aggiornato, prevede esplicitamente:

- la definizione dello stato di attuazione del PAI vigente e l'analisi della sua efficacia in relazione agli obiettivi del PAI stesso;
- l'analisi delle mappe di pericolosità e rischio e definizione del quadro delle criticità e conseguente proposta di aggiornamento dell'Atlante dei rischi Elaborato 2 del PAI fasce fluviali, aree allagabili in ambito collinare e montano e centri abitati a rischio;
- la revisione ed eventuale proposta di integrazione dei criteri e delle linee di intervento del PAI in relazione ai principi e agli obiettivi della Direttiva Alluvioni;
- la definizione dei criteri e individuazione delle aree a rischio rilevanti a livello di bacino (proposta di aggiornamento Allegato 1 alla relazione generale del PAI Atlante dei Nodi idraulici critici del PAI).

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) è stato adottato con deliberazione n. 4/2015 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po in data 17 dicembre 2015. Nella seduta di Comitato Istituzionale del 3 marzo 2016, con deliberazione n.2/2016, il piano è stato approvato. Infine, con DPCM del 27/10/2016 il Piano stato approvato.

Dagli elaborati ivi annessi si rileva che il collegamento ad est tra viabilità esistente e galleria di progetto è inserito in "Aree di pericolosità poco frequenti", con tempo di ritorno fino a 200 anni dall'evento (pericolosità M poco frequente).



5.2 PIANIFICAZIONE COMUNALE E CLASSIFICAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO

Il PGT vigente riporta l'aggiornamento del 2015 della Pericolosità Idraulica - Studio del Rischio Idraulico predisposto nel 2008, con riferimento ai criteri della D.G.R. n.IX/2616/2011 da Ramon Galindo Pacheco e Francesco Baroni.

Lo studio riporta i risultati ottenuti mediante modellazione bidimensionale con tempo di ritorno 200 anni.

Lo studio di dettaglio idraulico è stato sviluppato mediante un modello numerico di carattere bidimensionale, Basilisk 2D. L'analisi ha adottato un reticolo di calcolo composto da celle rettangolari omogenee di dimensioni 5 m per 5 m, per un totale di circa 800.000 celle per la rappresentazione di tutto il dominio di calcolo.

L'analisi di aggiornamento ha riguardato la ridefinizione della mappatura di pericolosità idraulica basata sui tiranti e le velocità di scorrimento prodotte dallo studio bidimensionale di carattere idraulico per un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

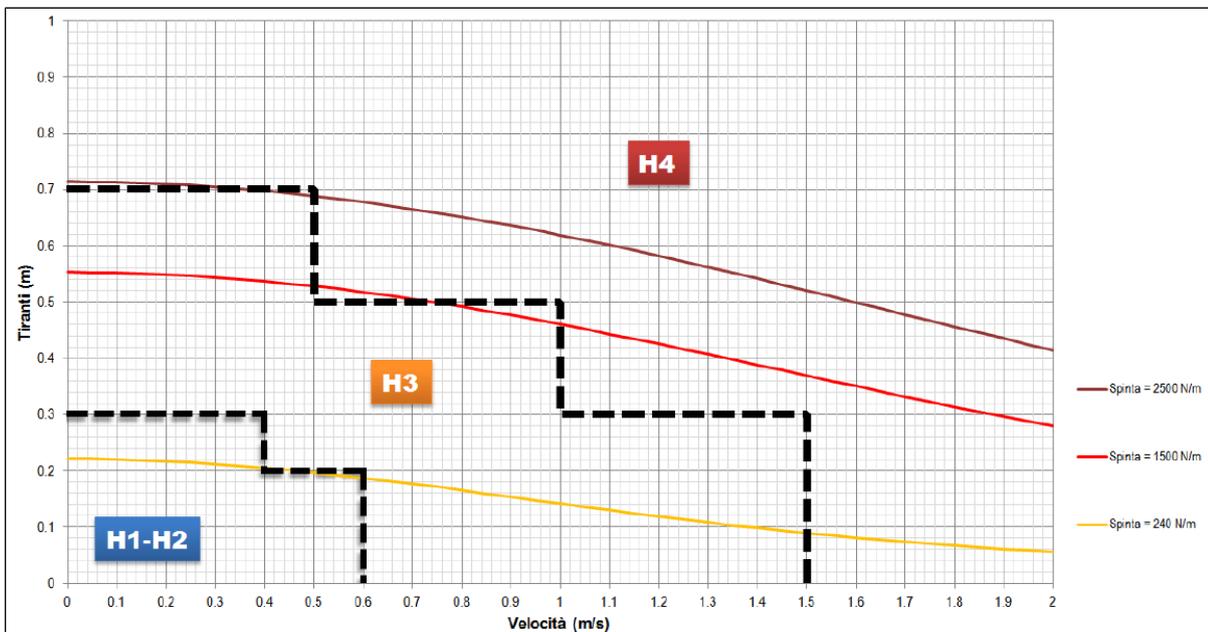


Figura 5.3: Classificazione dei livelli di pericolosità idraulica a confronto con i valori di spinta ammissibile

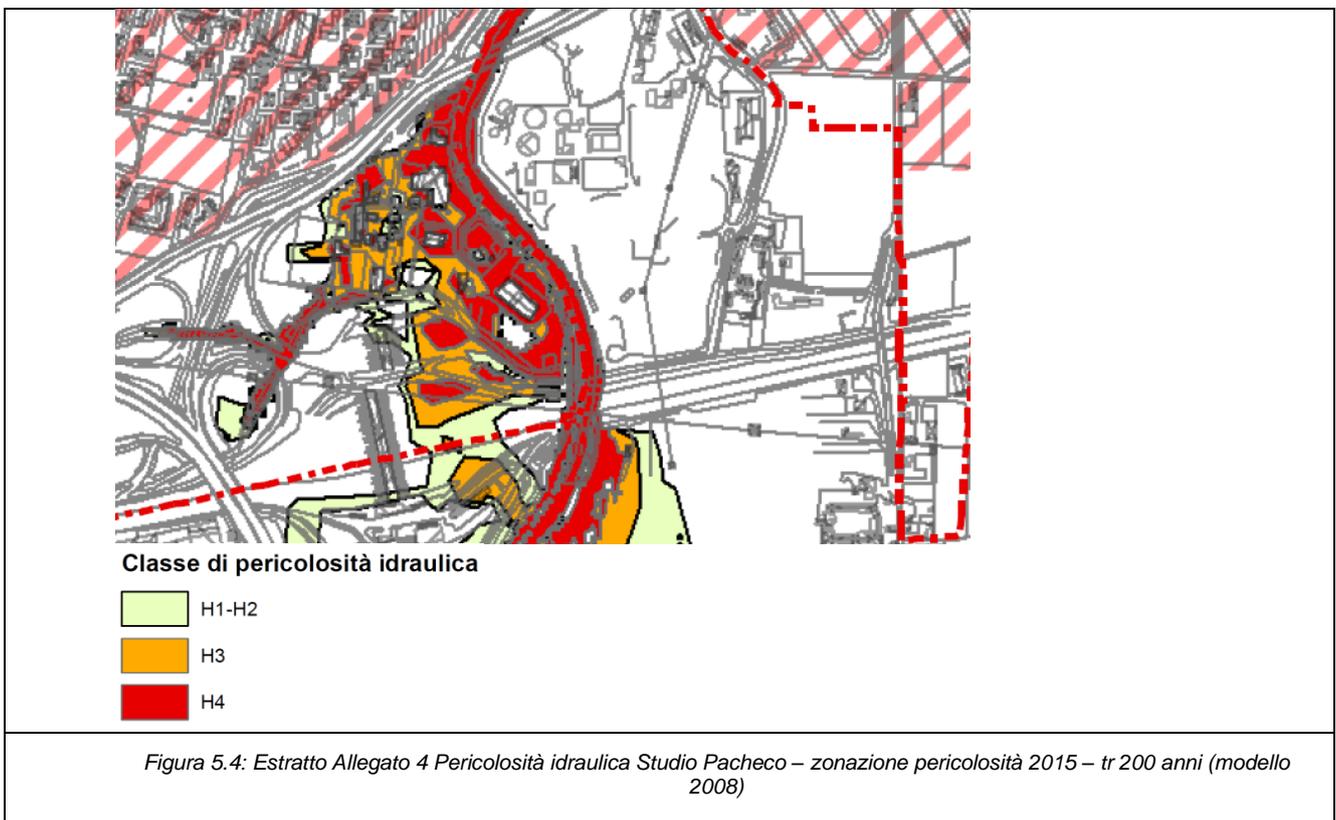


Figura 5.4: Estratto Allegato 4 Pericolosità idraulica Studio Pacheco – zonazione pericolosità 2015 – tr 200 anni (modello 2008)



Classe di pericolosità idraulica

- H2 - Aree caratterizzate da pericolosità idraulica media H2 (tiranti idrici compresi tra 0,00 e 0,30 m e velocità comprese tra 0,00 e 0,60 m/s)
- H2* - Aree caratterizzate da pericolosità idraulica media H2 indirettamente interessate da fenomeni di allagamento
- H3 - Aree caratterizzate da pericolosità idraulica elevata H3 (tiranti idrici compresi tra 0,30 e 0,70 m e velocità comprese tra 0,6 e 1,5 m/s)
- H3* - Aree caratterizzate da pericolosità idraulica elevata H3 indirettamente interessate da fenomeni di allagamento
- H4 - Aree a pericolosità idraulica molto elevata H4 (caratterizzate in caso di piena da tiranti idrici superiori a 0,70 m e velocità superiori a 1,50 m/s)

Figura 5.5: Estratto Allegato 4 Pericolosità idraulica Studio Pacheco – zonazione ai fini pianificatori

Il tratto di collegamento ad est tra viabilità esistente e galleria di progetto risulta esterno ma adiacente ad area classificata con rischio H4 secondo la carta della zonazione ai fini pianificatori. Come si evince dalla Figura 5.4 il sottopasso esistente tuttavia è interamente interessato dal flusso d'acqua, che non può di certo terminare su uno dei due rami in discesa.

L'area del casello autostradale è invece interessata solo localmente dalle esondazioni, al contrario di quanto riportato nel PGRA.

5.2.1 VARIANTE 2018 PGT MONZA

Di seguito le considerazioni riportate nel corso della variante 2018 del PGT del comune di Monza approvato: Studio di "Aggiornamento dati della Pericolosità Idraulica - Studio del Rischio Idraulico predisposto nel 2008, con riferimento ai criteri della D.G.R. n. IX/2616/2011" (Relazione Tecnica - Ramon Galindo Pacheco e Francesco Baroni, 18/03/2016; All.4 allo Studio Geologico del PGT vigente), inerente il Fiume Lambro.

- Le portate utilizzate nello Studio Pacheco 2008-2016 sono dichiarate valide per un tempo di ritorno pari a T=200 anni. In particolare si evidenzia quanto segue:

- nel tratto da Villasanta al ponte di via Cantore a monte del Lambretto [progressive km 51.209-55.172], esse risultano leggermente superiori alle portate di PGRA (200 m³/s contro 190 m³/s del PGRA)
- valori uguali a quelli del PGRA (200 m³/s) sono stati considerati nel tratto urbano fino al ponte sul canale Villoresi [km 55.172-57.649]
- risultano leggermente inferiori (200 m³/s contro 215 m³/s del PGRA) nel tratto successivo [km 57.649- 60.394] fino al primo ponte dell'autostrada A4.
- valori uguali a quelli del PGRA (295 m³/s) sono stati considerati nel tratto terminale di interesse.

Si ritiene pertanto che, malgrado le lievi differenze riscontrate, i dati di partenza dello studio del 2008-2016 siano compatibili con i dati del PGRA.

I livelli idrici risultanti dalla elaborazione del 2008-2016 risultano invece difficilmente confrontabili con i valori indicati dal PGRA, a causa della differente modellazione utilizzata nei due studi. In particolare, la modellazione bidimensionale utilizzata nello studio 2008-2016 produce una stima di livelli generalmente inferiori ai livelli definiti dalla modellazione monodimensionale utilizzata nel PGRA; tuttavia si ritiene che il maggiore dettaglio e la procedura di calcolo più raffinata impiegata nello studio 2008-2016 siano elemento di convalida dei risultati ottenuti.

I dati topografici utilizzati nello studio 2008-2016 si basano su un rilievo DTM con precisione 5 m, che, al momento, non è stato possibile confrontare i dati topografici dettaglio LIDAR (precisione 1 m) per evidenziare eventuali differenze che possano risultare significative. Tuttavia da un primo raffronto tra i dati topografici riportati nel DEM 2008-2016 e quelli DSM forniti dal Comune nel Settembre c.a. si evidenzia per questi ultimi un maggiore dettaglio in relazione al passo adottato pari a 1 m anziché 5 m; non sono state riscontrate in ogni caso significative differenze ai fini della valutazione delle modalità di deflusso.

In funzione della necessità di una maggiore completezza dei dati a disposizione ed alla contestuale implementazione a scala di bacino e sovracomunale di studio idraulici dettagliati con previsione di specifiche opere idrauliche sul Corso del Fiume Lambro, ai fini della predisposizione della presente proposta di recepimento delle Aree PGRA si è ritenuto di tenere conto delle aree di Pericolosità Idraulica già istituite nello studio geologico e derivate dallo studio Pacheco (vedi Tavv. 8 - Sintesi degli elementi conoscitivi) ma di attribuire, cautelativamente, specifiche Norme Geologiche di Piano riferite a problematiche idrauliche anche esternamente ad esse laddove siano presenti aree PGRA-RP a pericolosità idraulica P3/H e P2/M. Si ritiene invece che per le aree P1/L possano essere applicati i risultati dello Studio Pacheco 2008-2016.

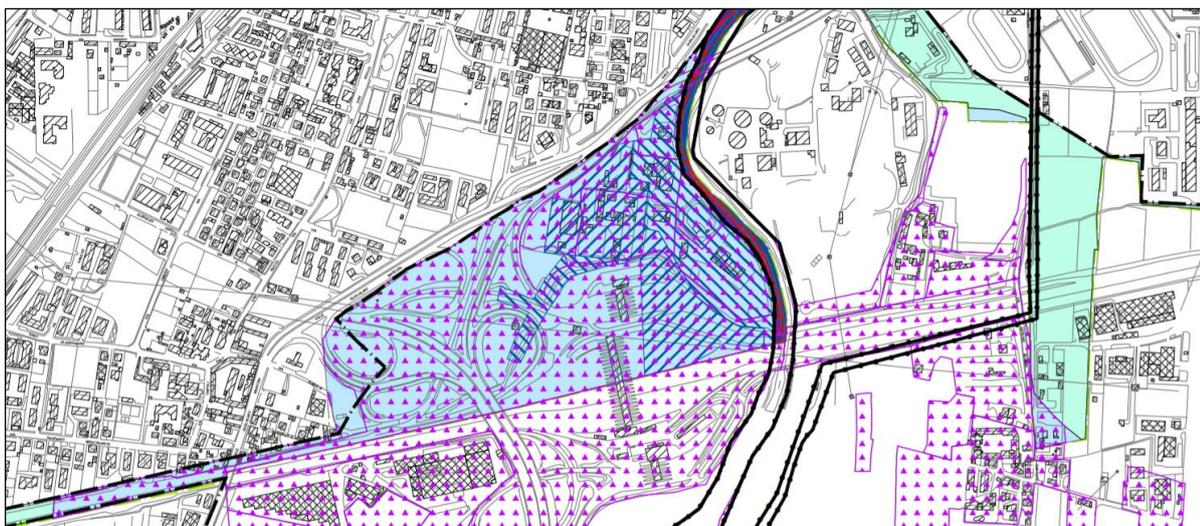


Figura 5.6: Tav 4c PGT Monza – Parte idraulica – Zonazione delle classi di rischio.

**Classi di Fattibilità connesse a tematiche idrauliche
presenti nello Studio Geologico Vigente**

-  Classe 4Fa (4Fa; 4Fac)
-  Classe 3Fb (3Fb; 3Fba; 3Fbc)
-  Classe 4H4 (4H4; 4H4b; 4H4c)
-  Classe 3H3 (3H3; 3H3*; 3H3c)
-  Classe 3H2 (3H2; 3H2*; 3H2b)

Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) - DGR X/6738/2017

Aree Allagabili del Reticolo di Pianura (RP)

-  Aree di Pericolosità P3/H
-  Aree di Pericolosità P2/M
-  Aree di Pericolosità P1/L

Aree di Rischio definite nel PGRA

-  R4 - Rischio molto elevato

**Variante al Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI) - Fasce Fluviali
del F. Lambro nel tratto dal Lago di Pusiano alla confluenza con il Deviatore
Redefossi approvato con DPCM del 10/12/2004 (pubblicato sulla G.U. n. 28
del 04/02/2005)**

-  Limite tra la Fascia A e la Fascia B
-  Limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C
-  Limite tra la Fascia B e la Fascia C
-  Limite esterno di Fascia C
-  Confine comunale

Figura 5.7: Stralcio confronto aree PAI/PGRA / classi di fattibilità vigenti - Variante PGT 2018.

5.3 PROGETTI PARCO VALLE LAMBRO

A seguito dello studio della pianificazione vigente e dell'analisi di studi idraulici di dettaglio esistenti, al fine di valutare possibili modifiche recenti o attese del regime idraulico derivanti da progetti realizzati o da realizzare a scala di bacino sono stati sentiti gli Enti coinvolti.

A valle di questi colloqui è stato indicato come Committente di tali interventi il Parco Valle Lambro.

Dal confronto con il Parco è emersa l'esistenza di opere di regolazione e laminazione in parte realizzate e in parte da avviare nel prossimo futuro.

I successivi paragrafi descrivono il piano generale degli interventi delineato e presentato nel corso dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona" commissionato dall'AdBPo a valle degli eventi alluvionali del 2002.

5.3.1 STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEI CORSI D'ACQUA NATURALI E ARTIFICIALI ALL'INTERNO DELL'AMBITO IDROGRAFICO DI PIANURA LAMBRO-OLONA

Le fasce fluviali del fiume Lambro sono state delimitate nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del Po, approvato nel 2001. Nel novembre 2002, in occasione di un periodo particolarmente prolungato di piogge di carattere ed intensità fortemente variabili, i Comuni della valle del Lambro, in particolare quelli a valle del lago di Pusiano, hanno subito l'esondazione del Lambro in zone particolarmente urbanizzate con conseguenti notevoli danni sia agli immobili sia alle infrastrutture.

Questo episodio ha mostrato, con tutta evidenza, che l'intero bacino del Lambro è vulnerabile e carente di aree di laminazione per accogliere ondate di piena tutt'altro che eccezionali, tant'è che la frequenza delle piene che causano esondazioni nelle città sono venticinquennali (1951-1976-2002).

A seguito della piena del 2002, l'AdBPo ha commissionato lo Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona, completato nel settembre 2003, nel quale è analizzato lo stato dell'arte del rischio idraulico sull'asta del Lambro e sono identificati gli interventi strategici da attuare al fine di porre la valle in sicurezza. Le risultanze di tale studio sono confluite nella Variante al PAI relativa alle fasce fluviali del fiume Lambro dal lago di Pusiano alla confluenza del deviatore Redefossi, approvata nel 2004.

Gli interventi previsti nella Variante Lambro per il raggiungimento dell'assetto di progetto finale del corso d'acqua ricadono in sette tipologie:

- opere di regolazione
- formazione di aree di laminazione
- mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano zone golenali
- riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano
- adeguamento dei manufatti di attraversamento che ostacolano il deflusso di piena e inducono allagamenti in zone non compatibili
- realizzazione di opere di protezione locale (arginature)
- aumento della capacità idraulica dell'alveo attraverso opere locali (ricalibrature d'alveo, diversivi, ecc.).

Scendendo nel dettaglio gli interventi della tipologia 2 furono identificati nelle seguenti posizioni:

- a) Merone e Costa Masnaga sulla Bevera di Molteno;
- b) Briosco sulla Bevera di Renate;
- c) Molteno sul Gandaloglio;
- d) Inverigo sul fiume Lambro

Tali progetti in parte realizzati e in parte in fase di progetto contribuiscono e contribuiranno a raggiungere i risultati programmati con riduzione della portata di piena.

5.4 PIENE STORICHE

La città di Monza è da sempre soggetta a piene del Lambro. Sono state censite circa 30 piene storiche; la più antica di cui si è trovata traccia nei documenti consultati risale al 1175 o 1177, mentre la più recente è del novembre 2002.

La seguente Figura è una rappresentazione cartografica delle aree inondate durante le piene dell'autunno 1976 e dell'autunno 2002.

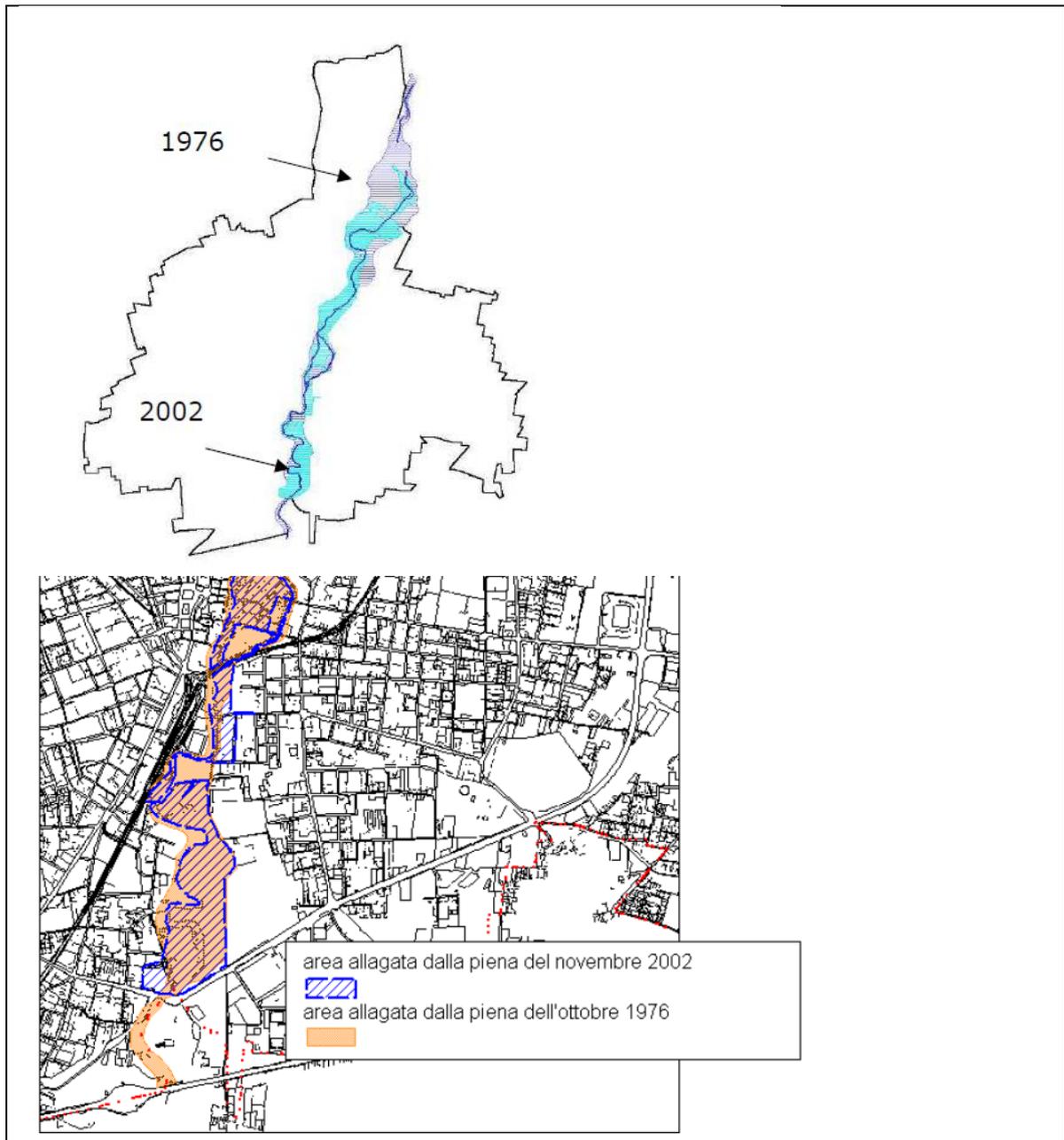


Figura 5.8: Figuree Aree inondate nelle piene del lambro da 1976 al 2002.

5.5 VALUTAZIONE RISCHIO E DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA STATO DI FATTO

Le pianificazioni sono state sviluppate sulla base di stati di fatto che mutano da decennio a decennio.

La presente valutazione del rischio ha avuto lo scopo di identificare preliminarmente il rischio e la pericolosità idraulica da assumere quale reale stato di fatto per il conseguente sviluppo della compatibilità idraulica per l'intervento in progetto.

Si premette che esiste una difformità fra le varie classificazioni. Il PAI classifica l'innesto in progetto alla galleria quale fascia C, il PGRA quale fascia P2/M e il PGT non classifica l'area sulla base dei risultati dello Studio Pacheco.

La modellistica dello Studio Pacheco è riferita allo stato di fatto del 2008 e non a quello del 2020.

Come esposto dal paragrafo 5.3 sono ad oggi stati realizzati e saranno nel prossimo futuro interventi atti alla riduzione del rischio a scala di bacino. Si può quindi ipotizzare che la portata idrologica massima assunta da PAI/PGRA possa essere variata in riduzione.

Dal punto di vista di zonazione e di pianificazione vigente, basandosi sullo studio di dettaglio dello Studio Pacheco, l'area non presenta rischio e pericolosità idraulica.

Dal punto di vista progettuale osservando che la zonazione comunale si interrompe quasi al sottopasso e che l'intervento in progetto ha avvio in adiacenza al sottopasso stesso e assumendo quale stato di fatto i risultati dello Studio Pacheco, si ritiene preliminarmente che il nodo esistente sia a rischio di allagamento almeno con 200 anni con tempo di ritorno.

6 ANALISI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DELL'INTERVENTO

6.1 PREMESSA

Al fine verificare e caratterizzare compiutamente le dinamiche di allagamento che coinvolgono l'area prossima al Lambro ed interessata dagli interventi è stato sviluppato un modello idraulico bidimensionale.

La geometria del modello per quanto riguarda l'alveo è stata costruita dalle informazioni topografiche ricavate dal rilievo eseguito durante lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2004. Con tali informazioni è stata dapprima inserita la geometria dell'alveo in un modello 1D.

L'informazione topografica è stata inoltre integrata, per la parte esterna all'alveo, con i dati lidar 1 m x 1 m del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, nella modalità "DSM Last" che rappresenta un modello tridimensionale del terreno, depurato di parte della vegetazione, mentre sono presenti gli edifici che sono in grado di modificare le dinamiche di flusso all'interno del centro abitato, soprattutto per il fatto che sono presenti nell'area grossi edifici industriali.

L'unione dei dati lidar con le informazioni topografiche dell'alveo ha permesso la ricostruzione di un unico modello tridimensionale del terreno.

Il modello idraulico utilizzato simula la propagazione dell'onda di piena tenendo conto dell'effettiva realtà locale, dotata di restringimenti e sezioni idrauliche variabili ed è basato sul programma HEC-RAS.

Nel complesso si è analizzato un tratto di Lambro lungo circa 1.3 km, compreso tra la sezione di monte dell'AdBPo denominata LA-91.2.1 nei pressi del ponte di via Enrico Fermi al confine tra Monza e Brugherio e la sezione dell'AdBPo di valle denominata LA-90.2 al confine tra Sesto San Giovanni e Brugherio, circa 600 m a valle dell'attraversamento della A4.



Figura 6.1: Rappresentazione dell'area di calcolo del modello 1D inizialmente ricostruito. In verde le sezioni trasversali dell'alveo.

6.2 RICOSTRUZIONE DEL MODELLO TRIDIMENSIONALE DEL TERRENO

Come detto precedentemente il modello tridimensionale del terreno inserito nelle simulazioni è stato l'unione della superficie tridimensionale ricostruita per l'alveo del Lambro e di quella ricavata dai dati lidar per le aree esterne all'alveo principale, definito tramite le "main channel bank station". Per la corretta ricostruzione del modello tridimensionale della superficie analizzata infatti i dati lidar vanno sostituiti con quelli ricavati dalle sezioni topografiche rilevate nell'alveo, in quanto la presenza dell'acqua nell'alveo fornisce una scorretta altimetria all'interno dell'alveo nel lidar, come si vede nella successiva figura.



Figura 6.2: Dati 3D del lidar DSM Last. In rosso l'alveo del Lambro.

Per fare ciò si è partiti dal modello monodimensionale del corso d'acqua, in cui sono state inserite le sezioni rilevate durante lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel tratto compreso tra la sezione LA-91.3 a monte (ponte di via Monte Santo) e la LA-90 a valle (poco a sud del ponte di via S. Maurizio al Lambro).

Complessivamente trattasi di 11 sezioni principali.

Le sezioni principali sono poi state infittite mediante interpolazione, al fine di rendere maggiormente stabile il modello e nel contempo per avere una maggior precisione del risultato, che evita di mostrare brusche variazioni del profilo idrico. Il passo di interpolazione è stato generalmente di 10 m.

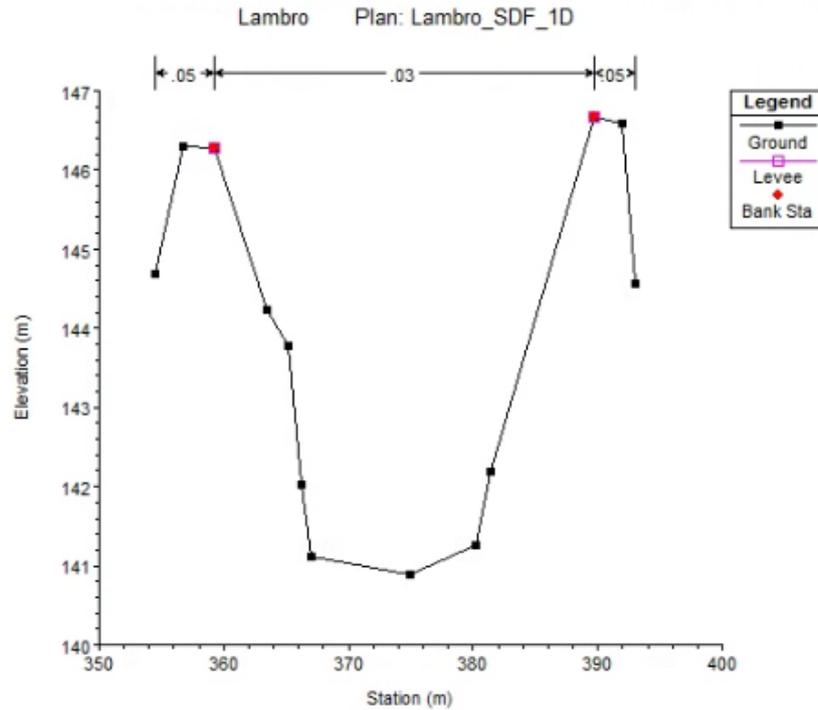


Figura 6.3: Esempio di sezioni inserite per l'asta principale.

Le sezioni interpolate sono state verificate in maniera tale da evitare errori grossolani.

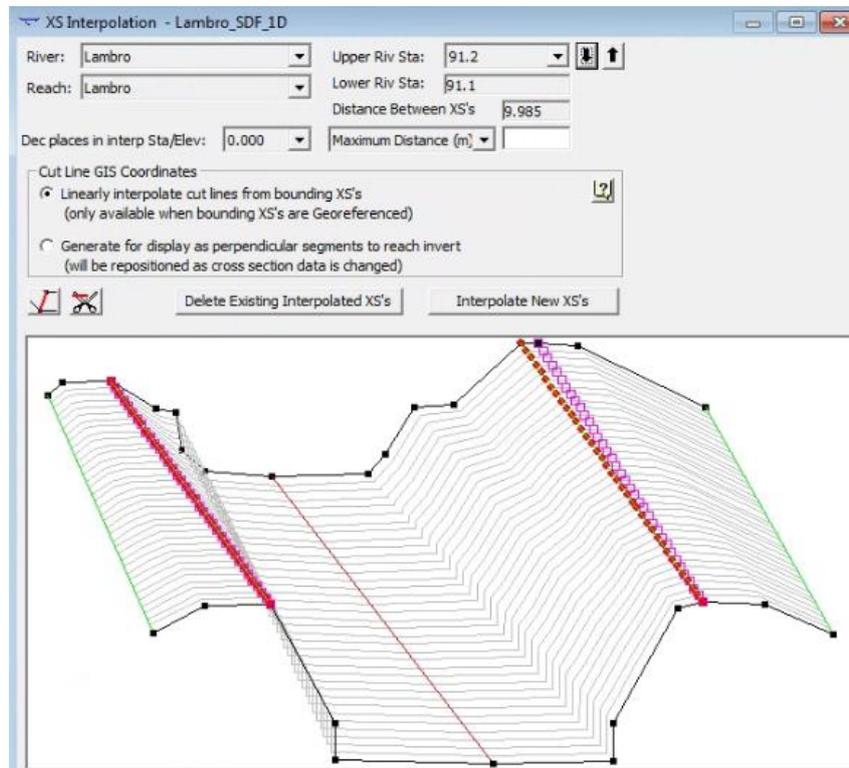


Figura 6.4: Esempio di interpolazione tra due sezioni.

Sulle sezioni sono state definite le "main channel bank station" che rappresentano i punti laterali dell'alveo del canale principale. Questi punti sono stati utilizzati successivamente per la ricostruzione del modello tridimensionale dell'alveo del Lambro, usato come input nel modello idraulico bidimensionale.

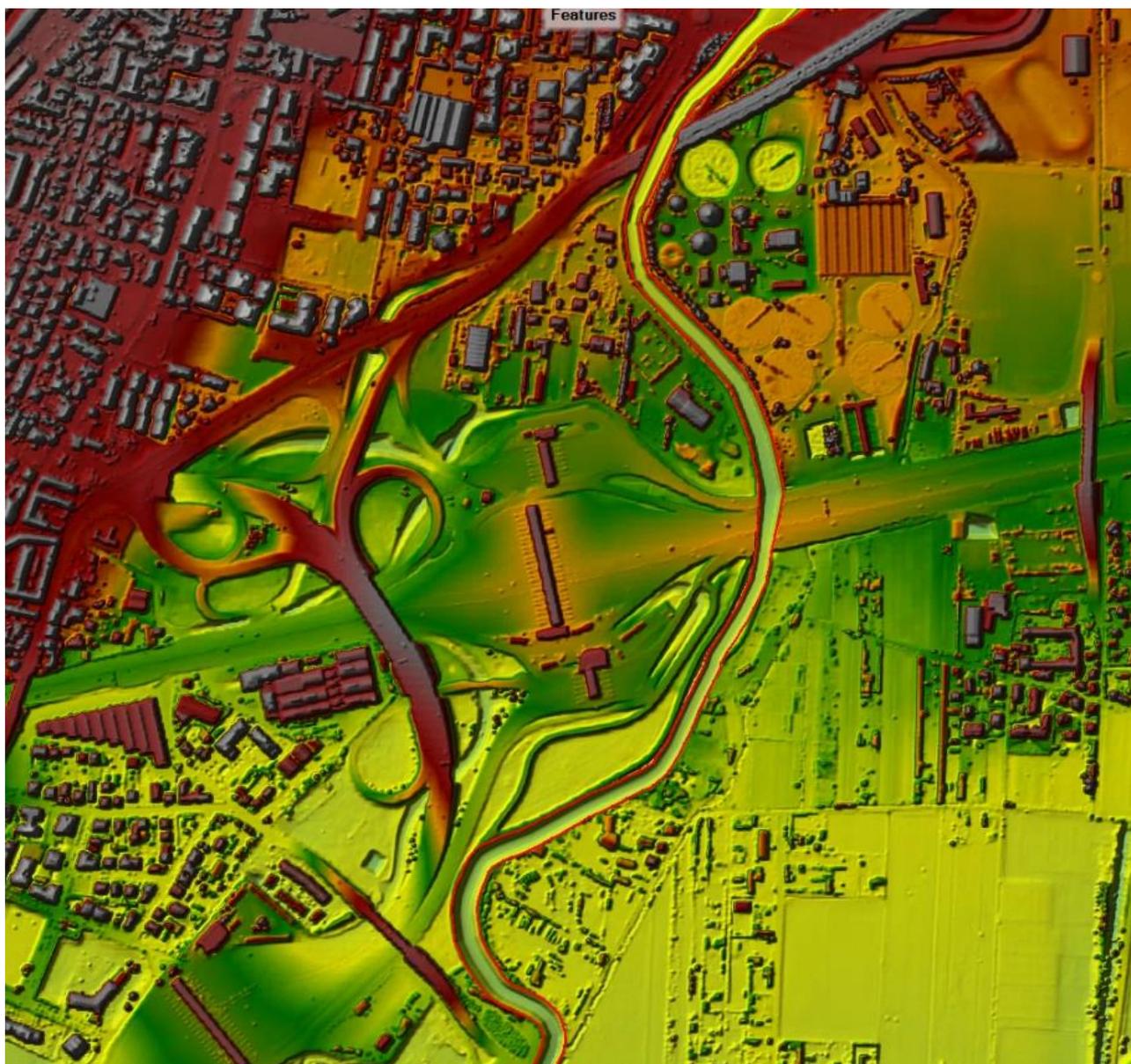


Figura 6.5: Il modello digitale con l'unione tra canale e DSM. Si nota una maggior regolarità dell'alveo.

I dati lidar, usati per le parti esterne all'alveo, sono inoltre stati modificati in corrispondenza di alcuni punti singolari, ove erano presenti errori di quote, che avrebbero potuto influenzare il modello idraulico.

In generale le modifiche sono state introdotte per:

- Eliminare alcuni alberi ancora presenti nel modello,
- Dare continuità a diversi sottopassi presenti nell'area dello svincolo autostradale,
- Eliminare la presenza di alcuni autoveicoli dalle strade,
- Dare continuità alla viabilità lungo il casello autostradale,
- Inserire le vasche di laminazione realizzate lungo la tangenziale nord negli anni successivi alla data di ripresa del rilievo lidar,
- Dare continuità al tratto in galleria della tangenziale nord.

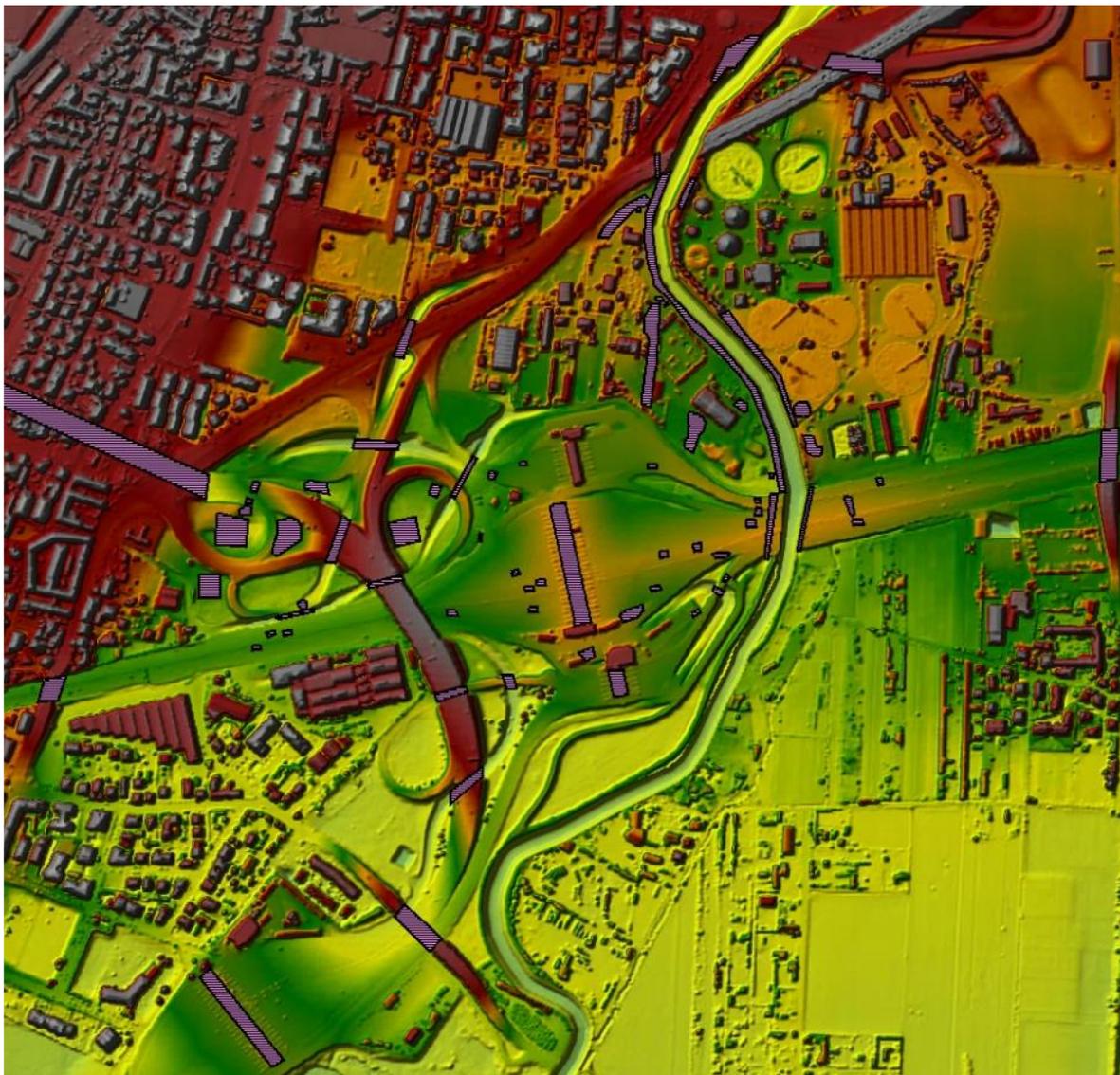


Figura 6.6: In viola le aree del modello DSM Last modificate manualmente.

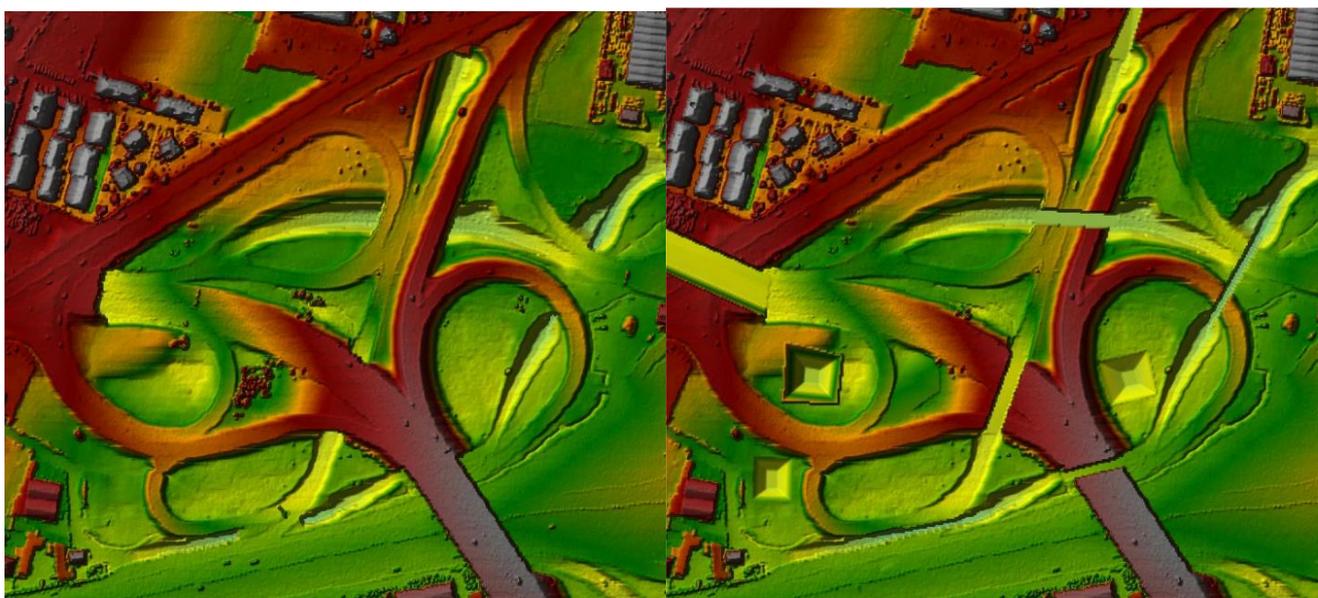


Figura 6.7: Esempio di variazione dei dati lidar originali a sinistra per tenere conto della presenza dei sottopassi e delle vasche (a destra).

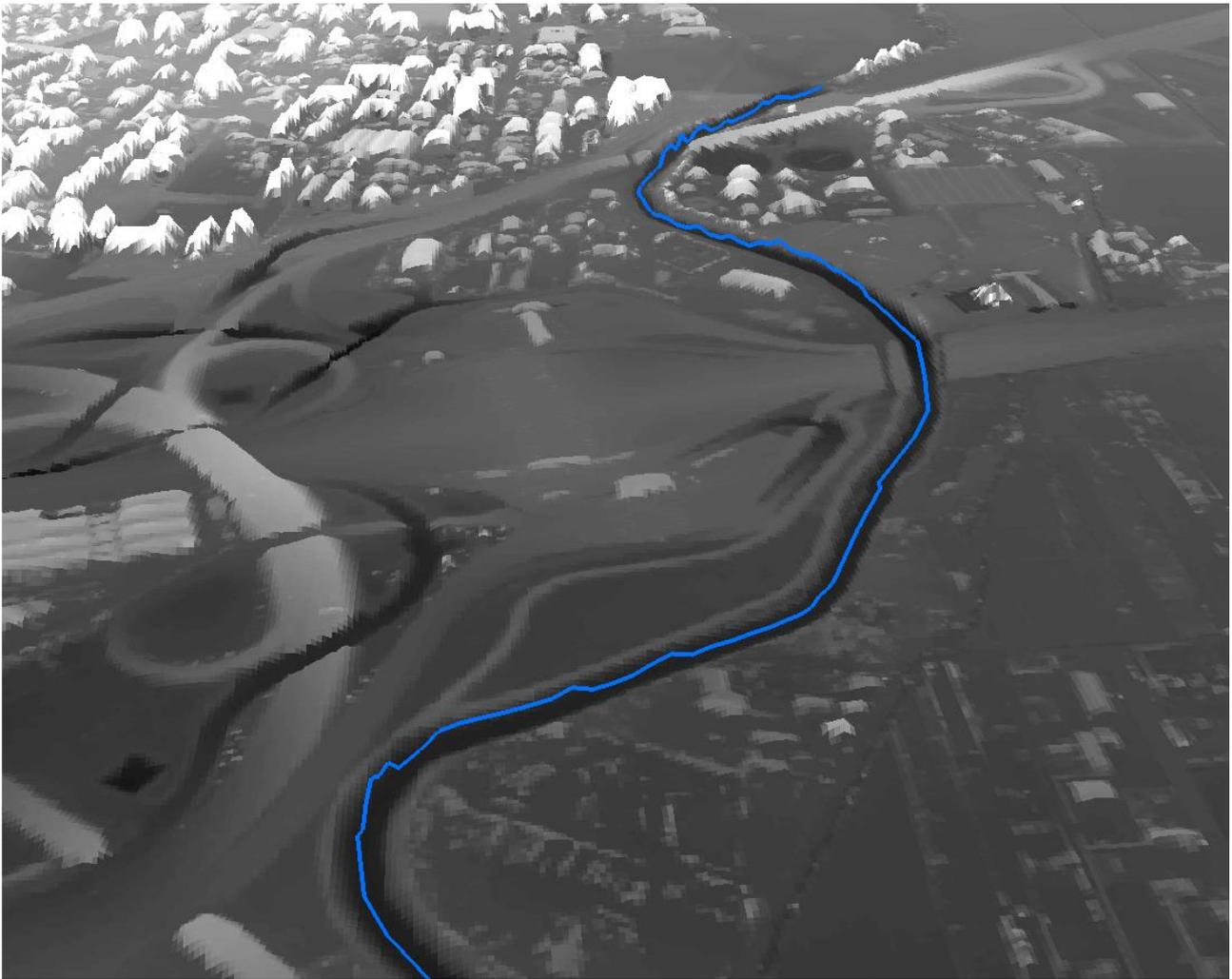


Figura 6.8: Modello del terreno tridimensionale inserito nel modello idraulico. In blu l'alveo.

6.3 AREA 2D DI CALCOLO E BREAK LINES

Per l'analisi bidimensionale è stata definita un'area 2D di calcolo principale, che copra interamente le aree dove è plausibile attendersi un'erosione, prendendo spunto dalle aree definite dal PGRA. È stata utilizzata per l'area 2D una maglia 5x5m.

Il modello idraulico realizzato è un modello puramente bidimensionale, non alterna dunque simulazioni 1D a 2D, questo perché il deflusso nel Lambro è più schematizzabile grazie ad un'analisi interamente bidimensionale, dato che il deflusso, soprattutto per le portate maggiori, interessa le aree esterne all'alveo.



Figura 6.9: L'area 2D inserita nel modello idraulico.

Per dettagliare maggiormente il modello sono state inserite break lines nei punti ove si hanno brusche variazioni di quota che si vogliono mantenere nella modellazione e in maniera tale che le celle di calcolo siano allineate lungo tali linee. Ad esempio, sono state posizionate presso i rilevati, le sponde fluviali ed i bordi delle strade significative.

L'inserimento delle break lines è avvenuto con l'opzione "Enforce break lines" e diminuendo per alcune di esse la dimensione della maglia di calcolo in maniera tale da fornire un maggior dettaglio nei pressi delle stesse.

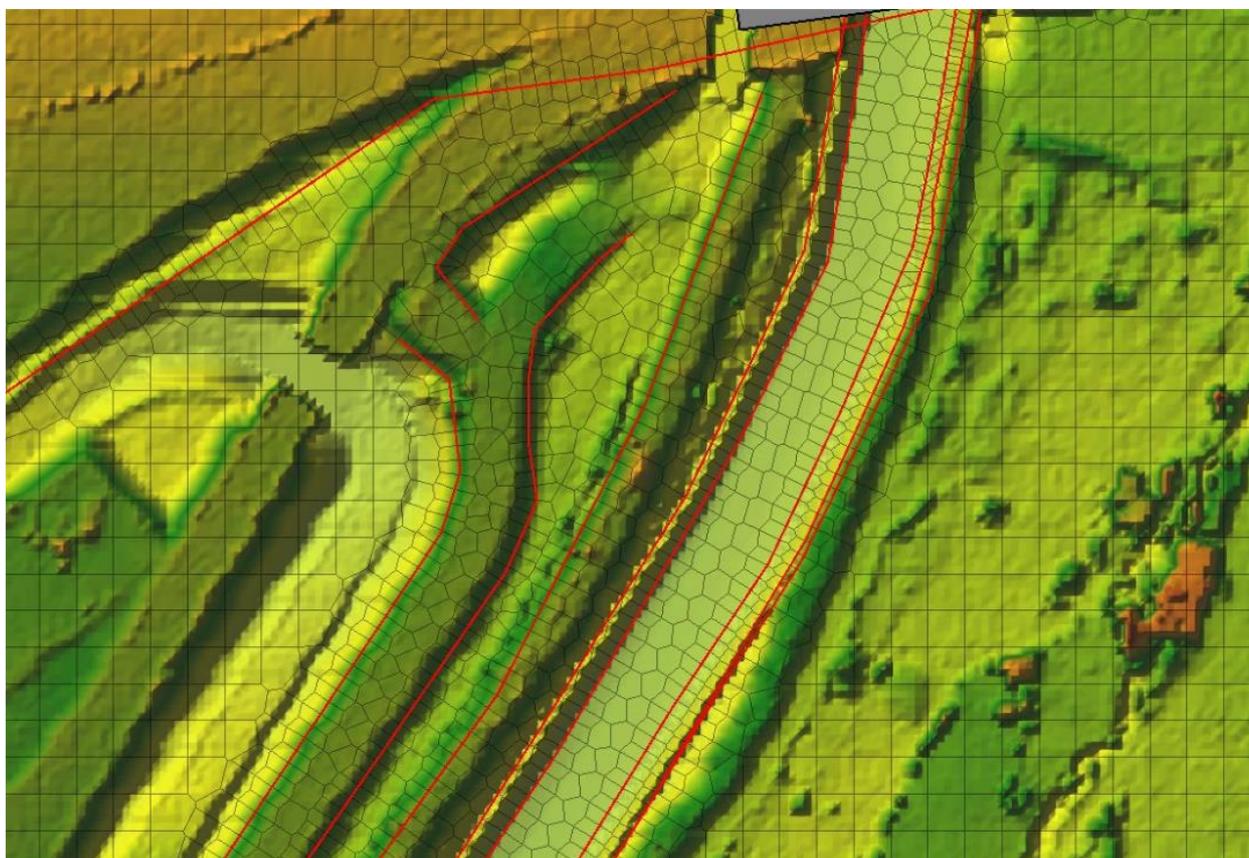


Figura 6.10: Esempio di break lines per la delimitazione delle sponde del Lambro e di alcune strade. In corrispondenza delle break lines, rappresentate in rosso, le celle risultano disposte con una faccia allineata alla break line.

6.4 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

Nel presente modello idraulico, relativamente all'alveo principale del Fiume Lambro, sono stati utilizzati coefficienti di scabrezza di Manning pari a $0.025 \text{ s/m}^{1/3}$.

I valori di scabrezza in alveo usati dall'AdBPo erano pari a $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ come coefficiente di Strickler (corrispondente a $0.033 \text{ s/m}^{1/3}$ del coefficiente di Manning), dunque simili a quello usato nella presente simulazione. Per le golene invece venivano usati valori di $2 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ come coefficiente di Strickler (corrispondente a $0.5 \text{ s/m}^{1/3}$ del coefficiente di Manning).

Al di fuori dell'alveo nel presente modello il coefficiente di Manning è stato fatto variare a seconda del diverso tipo di uso del suolo. A tal proposito si è utilizzata la cartografia DUSAF 6 di Regione Lombardia che differenzia la tipologia di uso del suolo sul territorio regionale. Per ogni differente categoria è stato associato un diverso coefficiente di Manning.



Legenda

DUSA F6

- 1112 - tessuto residenziale continuo mediamente denso
- 1121 - Tessuto residenziale discontinuo
- 1122 - Tessuto residenziale rado e nudelforme
- 1123 - Tessuto residenziale sparso
- 11231 ζ Cascine
- 12111 - Insedimenti industriali, artigianali, commerciali
- 12112 - Insedimenti produttivi agricoli
- 12122 - Impianti di servizi pubblici e privati
- 12123 - Impianti tecnologici
- 12124 - Cimiteri
- 12126 ζ Impianti fotovoltaici a terra
- 1221 - Reti stradali e spazi accessori
- 1222 - Reti ferroviarie e spazi accessori
- 132 ζ discariche
- 133 ζ Cantieri
- 134 - aree degradate non utilizzate e non vegetate
- 1411 - Parchi e giardini
- 1412 - Aree verdi incolte
- 1421 - Impianti sportivi
- 1422 - Campeggi e strutture turistiche e ricettive
- 2111 ζ seminativi semplici
- 2112 ζ seminativi arborati
- 21141 ζ Colture floro-vivaistiche a pieno campo
- 2115 - orti familiari
- 2311 - prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive
- 2312 ζ prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive sparse
- 31111 ζ boschi di latifoglie a densità media e alta governati a ceduo
- 3113 - formazioni ripariali
- 3241 - cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree
- 3242 - cespuglieti in aree di agricole abbandonate

Figura 6.11: Cartografia DUSAF 6 per l'area analizzata sovrapposta a ortofoto.

Nello specifico per ogni categoria è stato associato il coefficiente di Manning riportato nella successiva tabella.

Codice DUSAF e descrizione	coefficiente di Manning [s/m ^{1/3}]
1112 - tessuto residenziale continuo mediamente denso	0.150
1222 - Reti ferroviarie e spazi accessori	0.100
132 - discariche	0.100
133 - Cantieri	0.100
12123 - Impianti tecnologici	0.100
134 - aree degradate non utilizzate e non vegetate	0.045
12124 - Cimiteri	0.100
1411 - Parchi e giardini	0.080
12126 - Impianti fotovoltaici a terra	0.100
1421 - Impianti sportivi	0.080
2111 - seminativi semplici	0.045
1121 - Tessuto residenziale discontinuo	0.120
1422 - Campeggi e strutture turistiche e ricettive	0.060
1412 - Aree verdi incolte	0.045

- L'argine destro nel tratto tra via Marconi e la A4.

L'argine è stato inserito come struttura di tipo "Weir", cioè come sfioratore. È stata utilizzata l'opzione di calcolo "Use Weir Equation". La quota di sommità dell'argine è stata calcolata a partire dal modello tridimensionale del terreno

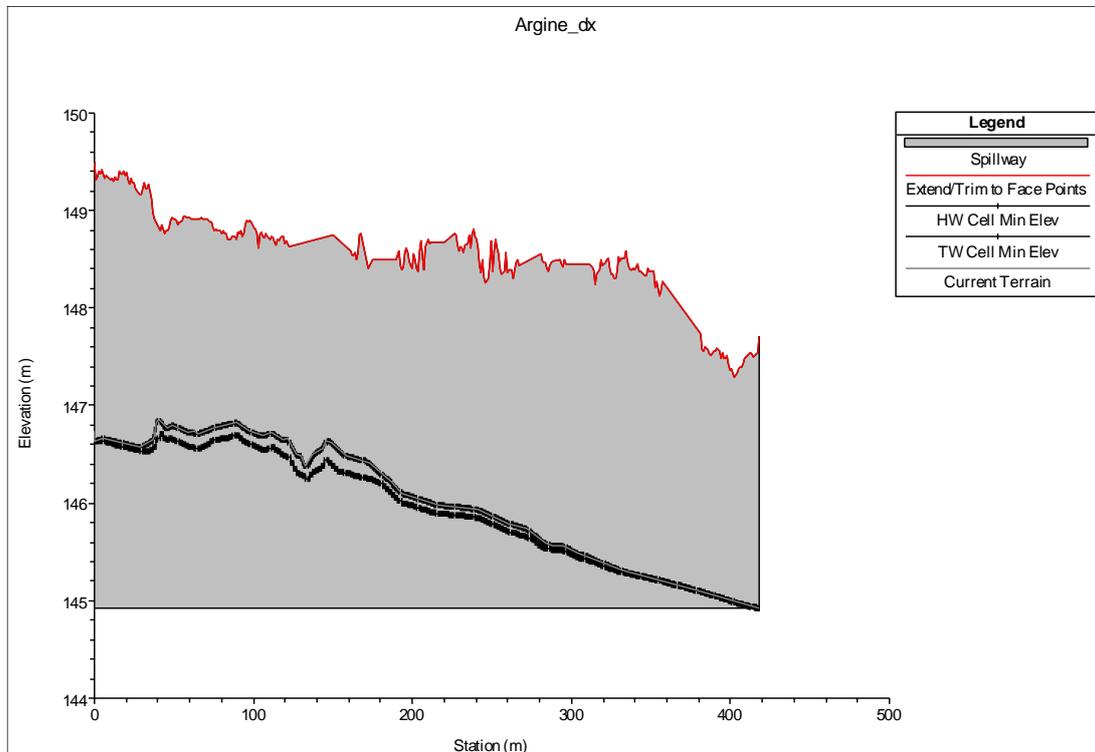


Figura 6.14: L'argine inserito nel modello con questa modalità.

I due ponti sono stati inseriti come Bridges.

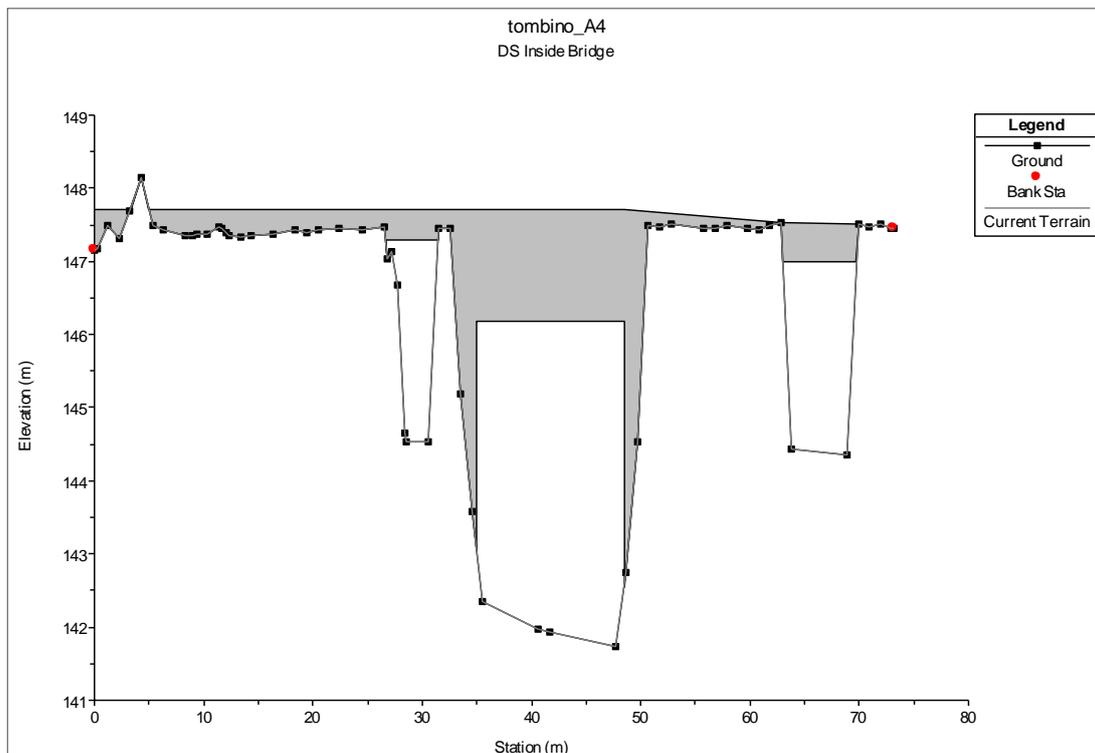


Figura 6.15: Ponte della A4.

Inoltre in corrispondenza di queste strutture è stata infittita la mesh di calcolo, usandole come Break Line.

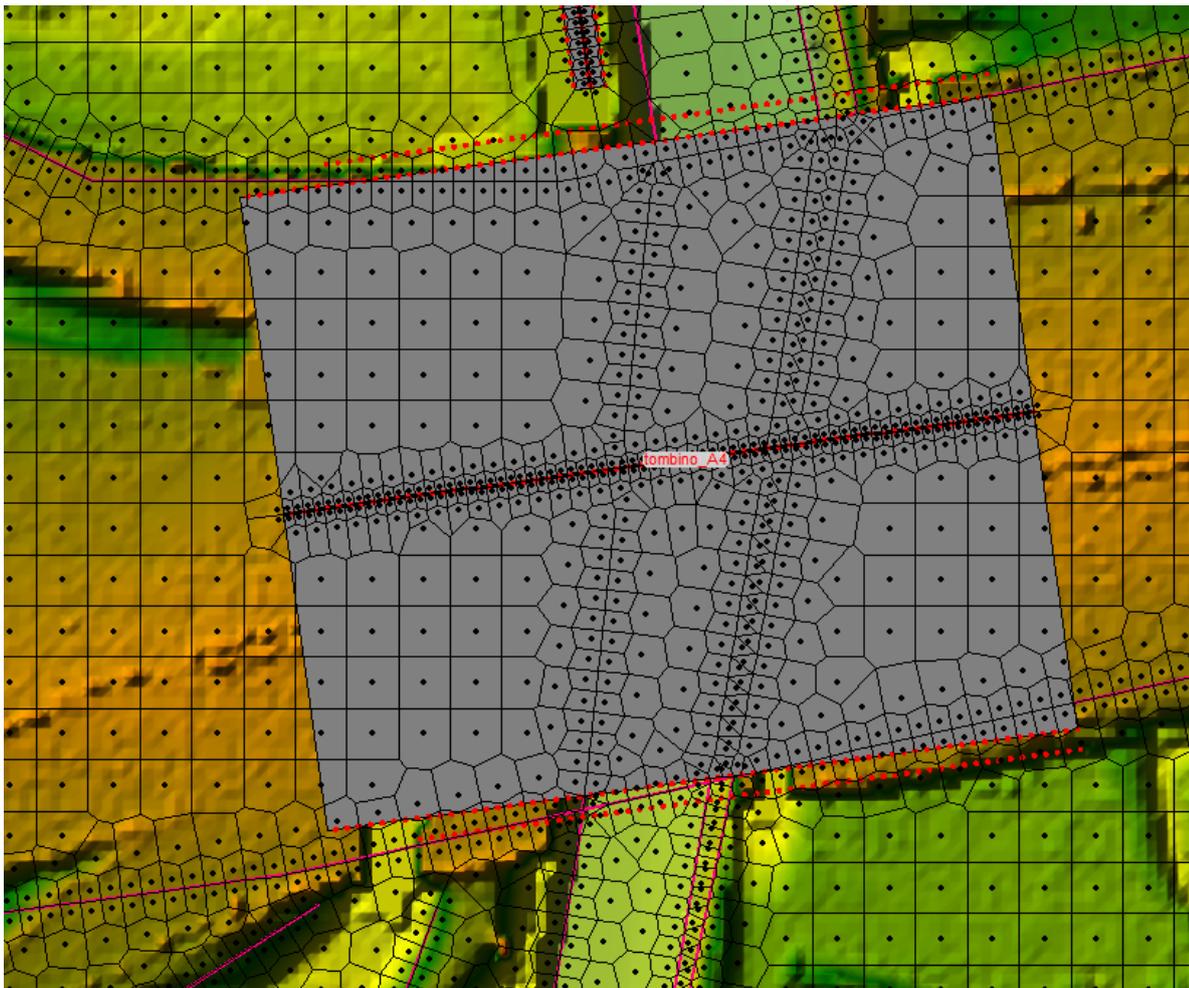


Figura 6.16: Vista planimetrica dell'infittimento della mesh di calcolo presso il ponte della A4 ed in grigio la struttura inserita.

6.6 CONDIZIONI AL CONTORNO E PORTATE IN INGRESSO

Nel tratto analizzato le elaborazioni del PGRA conducono ad una stima di portata di picco con tempo di ritorno duecentennale di 295 m³/s. Tale valore è in accordo con la portata stimata dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nel 2004.

Al contrario nello studio del Comune di Monza, per il tratto analizzato sino al ponte della A4 viene utilizzata una portata di 200 m³/s, come riportato in precedenza, e solo a valle del ponte della A4 i citati 295 m³/s. Vista la notevole differenza di portata nel tratto di interesse, ubicato appena a monte della A4, si è analizzata la rete idrica per capire da dove derivasse tale difformità. In particolare, grazie al WebGIS gestito da Brianzacque, si sono identificati gli scarichi presenti in questo tratto, come riportato nelle successive immagini:

- Uno scarico DN 1.3 m in destra idraulica a monte di via Monte Santo,
- Uno scarico policentrico 3.0x1.9 m in destra idraulica a valle di via Enrico Fermi,
- Uno scarico policentrico 4.0x3.0 m in destra idraulica a valle di via Enrico Fermi,
- Uno scarico DN 1.0 m in destra idraulica presso via Marconi,
- Lo scarico del depuratore in sinistra idraulica largo circa 2.5 m.

Vista la dimensione degli scarichi, è plausibile ritenere che l'incremento di portata lungo il Lambro avvenga proprio a monte della A4, come riportato nel PGRA. A tal proposito si sono anche analizzati i file editabili del modello idraulico dell'AdBPo del 2004 e si è avuta conferma di tale funzionamento in caso di piena.

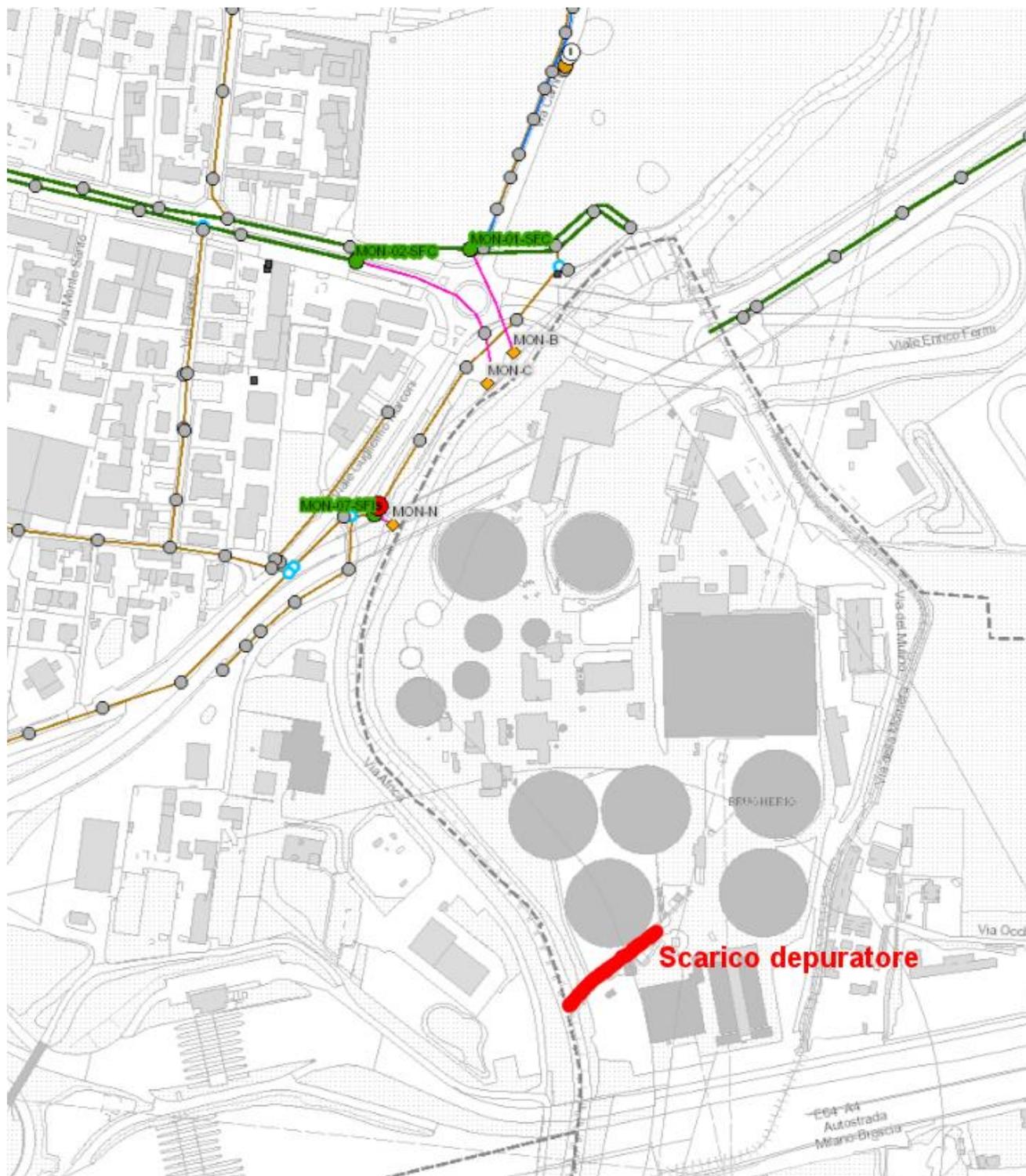


Figura 6.17: Quadro degli scarichi della rete fognaria a monte della A4 (da WebGIS Brianzacque).



Figura 6.18: Quadro degli scarichi della rete fognaria a monte della A4 (da WebGIS Brianzacque).

Le portate con tempo di ritorno decennale e cinquecentennale risultano invece di 161 e 320 m³/s.

Per l'idrogramma duecentennale inserito nel modello idraulico si è dunque fatto riferimento a quello ricavato dal citato studio dell'AdBPo e non al valore di portata riportato nello studio idraulico del Comune di Monza.

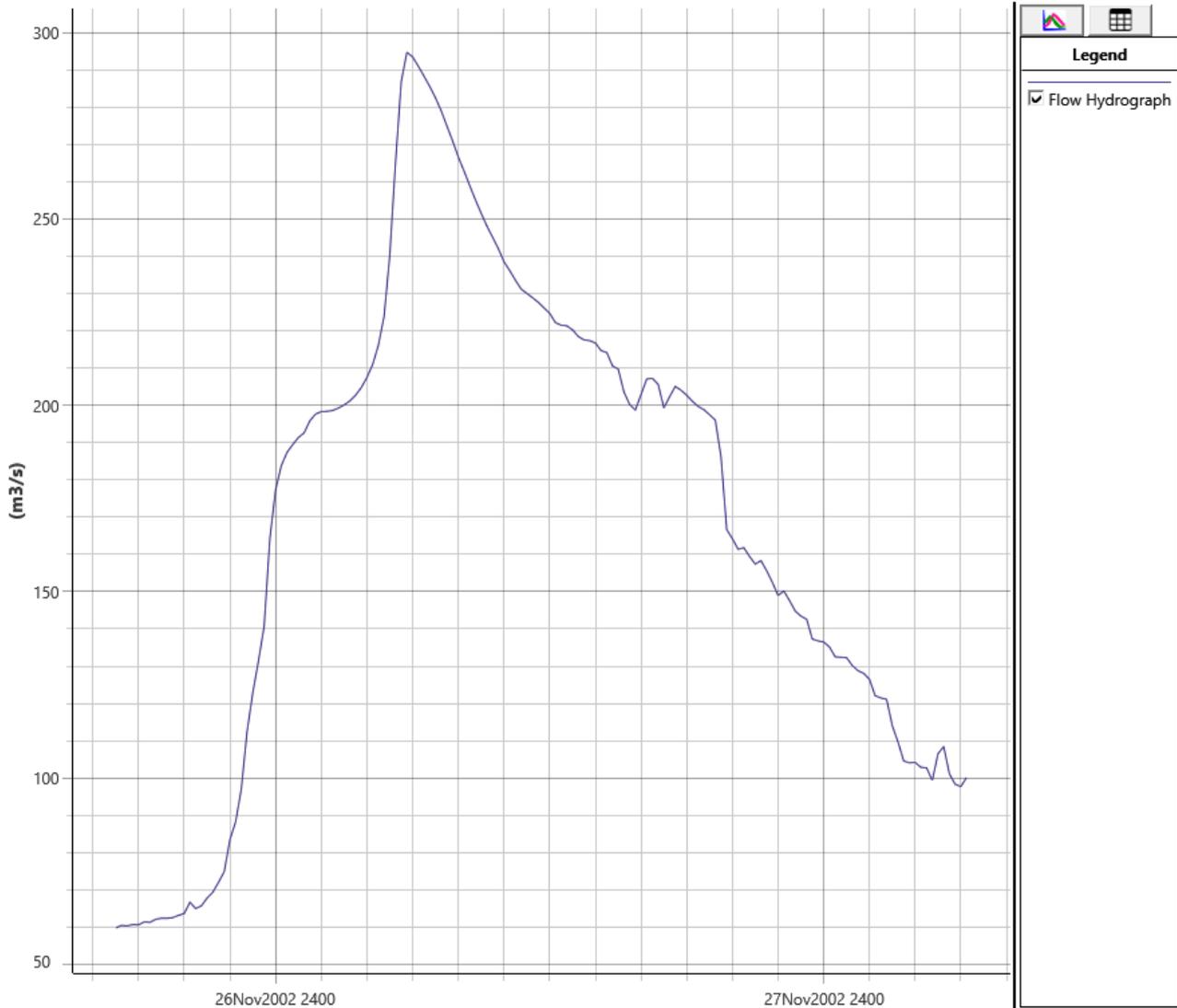


Figura 6.19: Idrogramma di piena nello studio AdBPo 2004 per il tratto esaminato.

Per ridurre problematiche di instabilità del modello, si è utilizzata come portata minima del torrente $100 \text{ m}^3/\text{s}$. L'idrogramma di origine e il minimo valore di portata introdotto nel modello sono rappresentati nel successivo grafico.

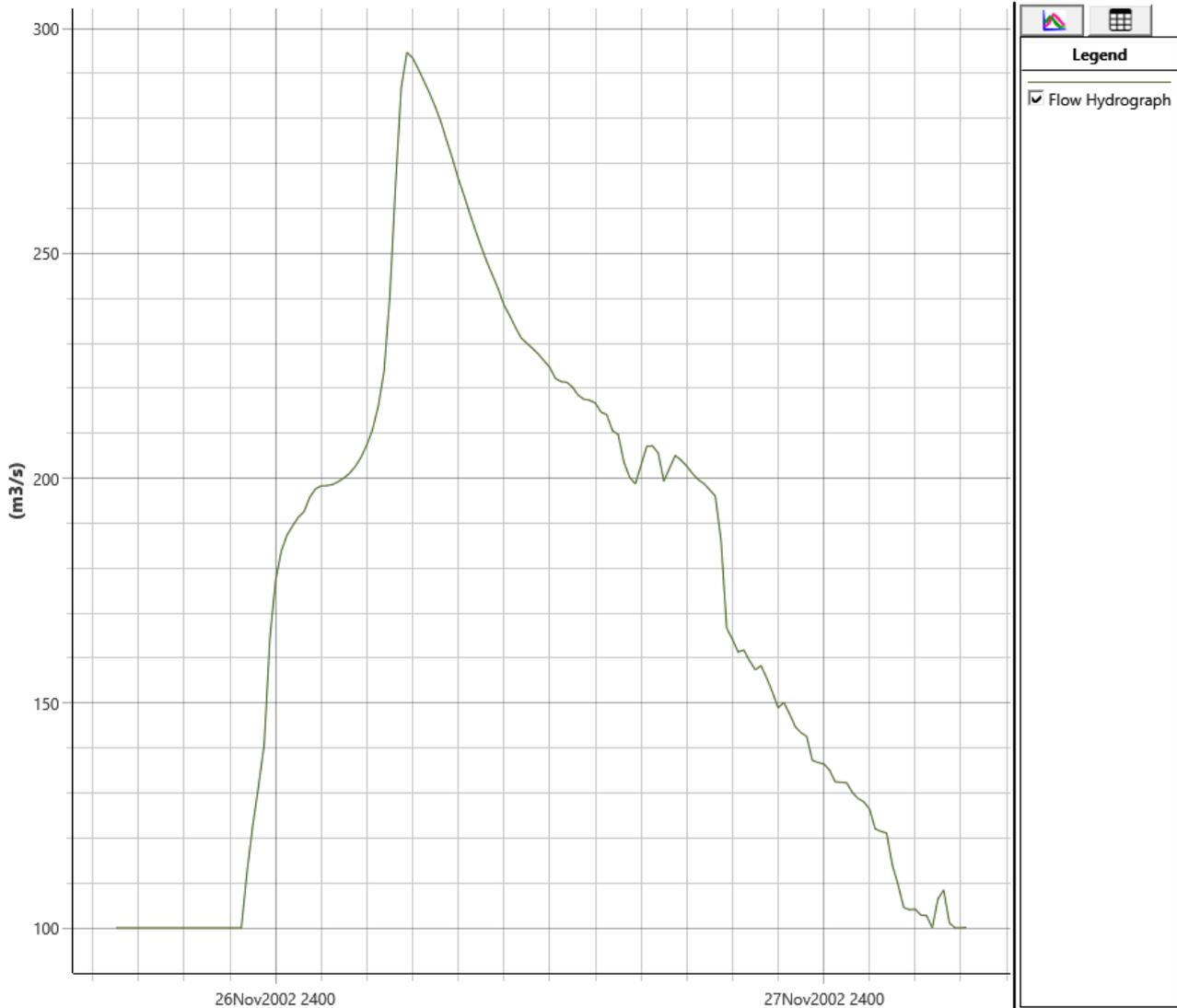


Figura 6.20: Idrogramma in ingresso a monte del modello per tempo di ritorno di 200 anni.

L'idrogramma di ingresso è stato inserito nella parte di monte del modello come "Boundary Condition".

Per le condizioni al contorno di valle del tratto di Fiume Lambro studiato è stata imposta una scala delle portate ricavata dalle simulazioni svolte dall'AdBPo alla sezione LA-90.2, cioè una curva che associa le portate ai livelli idrici, ricavati per TR 10, 200 e 500 anni. Essendo la condizione al contorno oltre 800 m a valle rispetto all'area oggetto di analisi, tale condizione, non ha una grande influenza sui risultati ottenuti per il territorio di interesse.

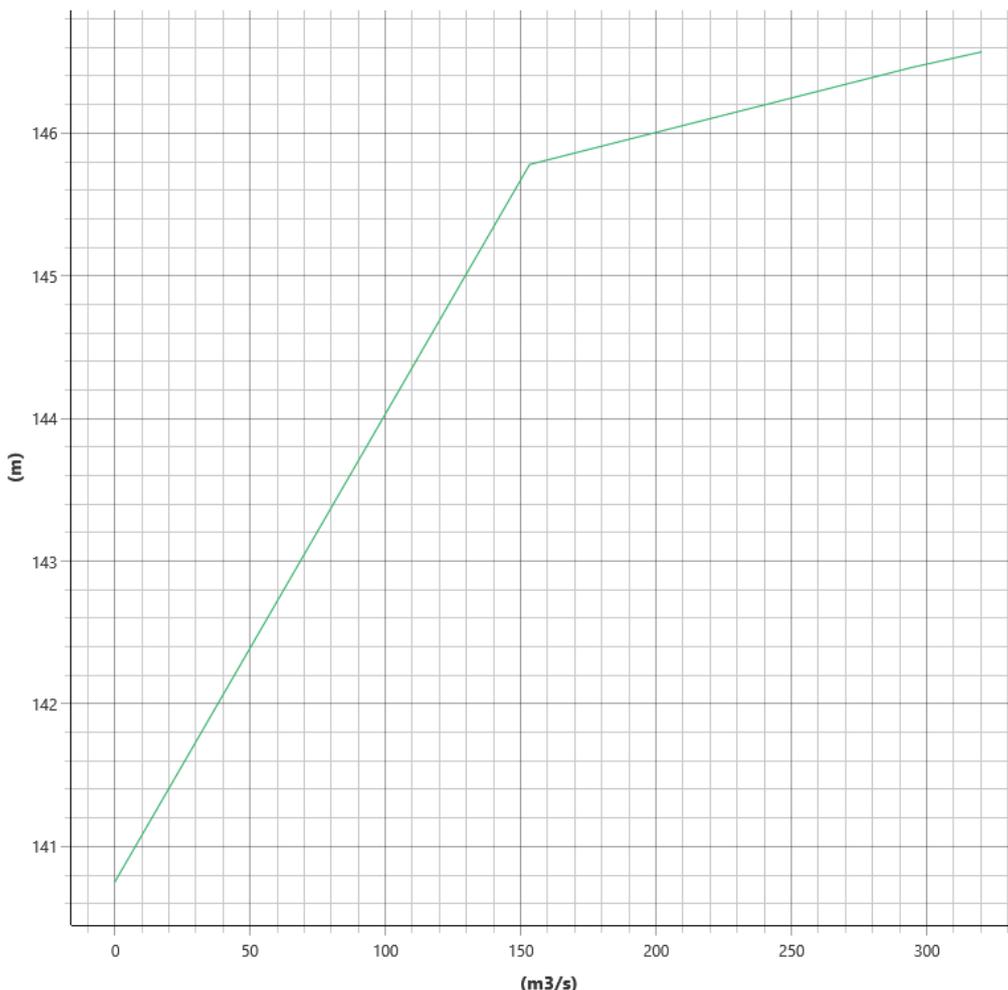


Figura 6.21: Scala delle portate inserita per la condizione al contorno di valle del modello esaminato.

Il modello è stato fatto girare con la modalità di calcolo “SWE-ELM (original/faster)” che mostra una maggior precisione rispetto alla Diffusion Wave, seppure questa si presenti di norma maggiormente stabile durante i calcoli.

6.7 I RISULTATI DELLO STATO DI FATTO

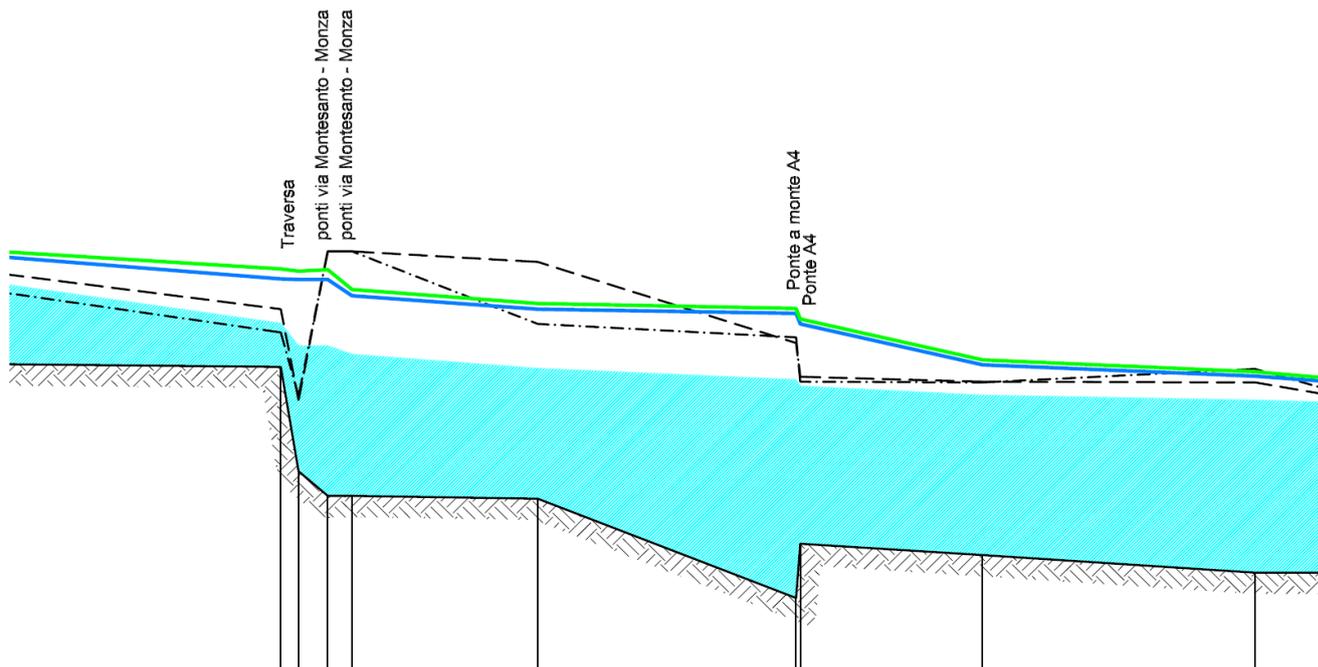
Il modello ha riprodotto in moto vario bidimensionale le dinamiche di allagamento del Lambro nel tratto studiato per il tempo di ritorno pari a 200 anni.

Nelle successive figure è riportato lo sviluppo temporale degli allagamenti.

Quello che preliminarmente si può osservare è che il modello bidimensionale svolto con portata con 200 anni di tempo di ritorno mostra allagamenti maggiori rispetto a quelli indicati nello studio del 2015 svolto dal Comune di Monza e più simili a quelli riportati nel PGRA per pericolosità M, seppure con maggior dettaglio rispetto a quest’ultimo grazie alla presenza di un modello digitale del terreno di dettaglio. Probabilmente la differenza di allagamenti tra lo studio del Comune di Monza e il PGRA è dovuta al fatto che il primo ha considerato una portata molto inferiore (200 contro 295 m³/s) per questo tratto, attribuendo l’aumento di portata a 295 m³/s a valle della A4, cosa che ad avviso degli scriventi appare poco corretta, vista la presenza di sfioratori fognari di notevoli dimensioni proprio nel tratto a monte della A4 che confermerebbero le stime di portata identificate dallo studio dell’AdBPo del 2004 e successivamente dal PGRA.

Procedendo da monte si nota come il ponte di via Marconi risulti sufficiente al transito delle portate di piena, mentre a valle di questo si hanno diffusi allagamenti sia in sponda destra che sinistra, causati dal soprizzo degli argini presenti. Grazie anche alla presenza di numerosi sottopassi, la piena viene ad interessare tutta l'area dello svincolo della tangenziale nord, con un'estensione degli allagamenti dunque maggiore rispetto a quella riportata nello studio del Comune di Monza. Inoltre la piena viene ad interessare anche il tratto di galleria della tangenziale nord, con conseguente propagazione degli allagamenti lungo il sottopasso in direzione nord-ovest, cosa non riportata nello studio del PGRA che identificava come limite degli allagamenti proprio l'imbocco della galleria, che tuttavia non può costituire un vincolo fisico, vista la pendenza della strada diretta verso nord-ovest. Tale limite è stato erroneamente ricavato dall'analisi dei dati lidar, che riportano le sole quote del terreno superficiali e non delle infrastrutture sotterranee.

Come si vede nella successiva figura lo studio dell'AdBPo del 2004 già evidenziava la tracimazione del ponte della A4 per la portata con tempo di ritorno di 200 anni, che determina un notevole rigurgito a monte, con insufficienza di entrambe le sponde. Il livello idrico a monte del tombino risultava essere di 148.24 m s.l.m., valore del tutto confrontabile con quello ricavato nel modello idraulico bidimensionale svolto (147.99 m s.l.m.). Anche nel presente studio il ponte determina un notevole rigurgito a monte, che provoca gli allagamenti sia in sponda destra che sinistra, oltre che l'interessamento dell'area del casello. Le esondazioni lungo la A4 si estendono sia verso est che verso ovest per un lungo tratto, incanalandosi lungo la viabilità, fintantoché le quote stradali non risultano maggiori del profilo di piena.



SEZIONI		LA91.3	LA91.3bis	LA91.2.2	LA91.2.1	LA91.2	LA91.1	LA91	LA90.3	LA90.2
PROGRESSIVE (m)		59667	59692	59733	59767	60028	60391	60397	60653	61036
QUOTE TERRENO (m s.l.m.)	Sponda Sinistra	148.35	145.78	150.00	150.00	149.70	147.40	146.45	146.30	146.28
	Fondo Alveo	146.72	143.75	143.05	143.05	142.98	140.15	141.70	141.38	140.88
	Sponda Destra	147.69	145.90	150.00	150.00	147.94	147.56	146.30	146.28	146.67
LIVELLI IDRICI (m s.l.m.)	Piena TR=10 anni	147.96	147.32	147.32	147.08	146.68	146.36	146.18	145.92	145.78
	Piena TR=200 anni	148.22	149.19	149.20	148.74	148.35	148.24	147.94	146.77	146.46
	Piena TR=500 anni	149.49	149.45	149.47	148.92	148.51	148.38	148.08	146.91	146.57

Figura 6.22: Profilo idrico del Lambro nello studio AdBPo del 2004.

A valle del ponte della A4 la piena interessa sia il territorio urbanizzato presente in destra che in sinistra idraulica, seppure l'allagamento in quest'ultimo risulta più esteso.



Figura 6.23: Confronto tra le aree allagate ottenute dalla simulazione bidimensionale condotta (in rosso) e le mappe PGRA (con azzurro chiaro TR 500 anni, blu chiaro TR 200 anni e blu scuro TR 10 anni).

La simulazione parte il 26 novembre 2002 alle ore 17:00 e si conclude il 28 novembre 2002 alle ore 06:15 con un passo temporale di 2 secondi.

Emerge come gli allagamenti si propagano da nord verso sud, utilizzando i diversi varchi presenti sotto la viabilità e una vasta area dell'urbanizzato ne venga interessata.

Relativamente all'area della tangenziale nord si nota come, a seguito del soprallzo arginale da parte della piena, si allaghi la zona a nord della A4, con conseguente incanalamento delle acque verso il sottopasso di via Somalia. Il tombino del sottopasso risulta insufficiente e l'acqua viene incanalata verso il punto di minimo stradale dello svincolo. Proseguendo nel tempo, l'allagamento interessa anche il lato nord della A4 e si propaga all'interno dello svincolo della tangenziale nord. In breve si verifica l'allagamento della tangenziale nord, che si propaga da est verso ovest nella galleria; nel giro di un'ora quasi tutta la galleria è occupata dall'acqua.

Lo schema di allagamento è riportato nella figura seguente. In quelle successive si riporta l'avanzare delle esondazioni e infine i massimi tiranti idrici restituiti dal modello.

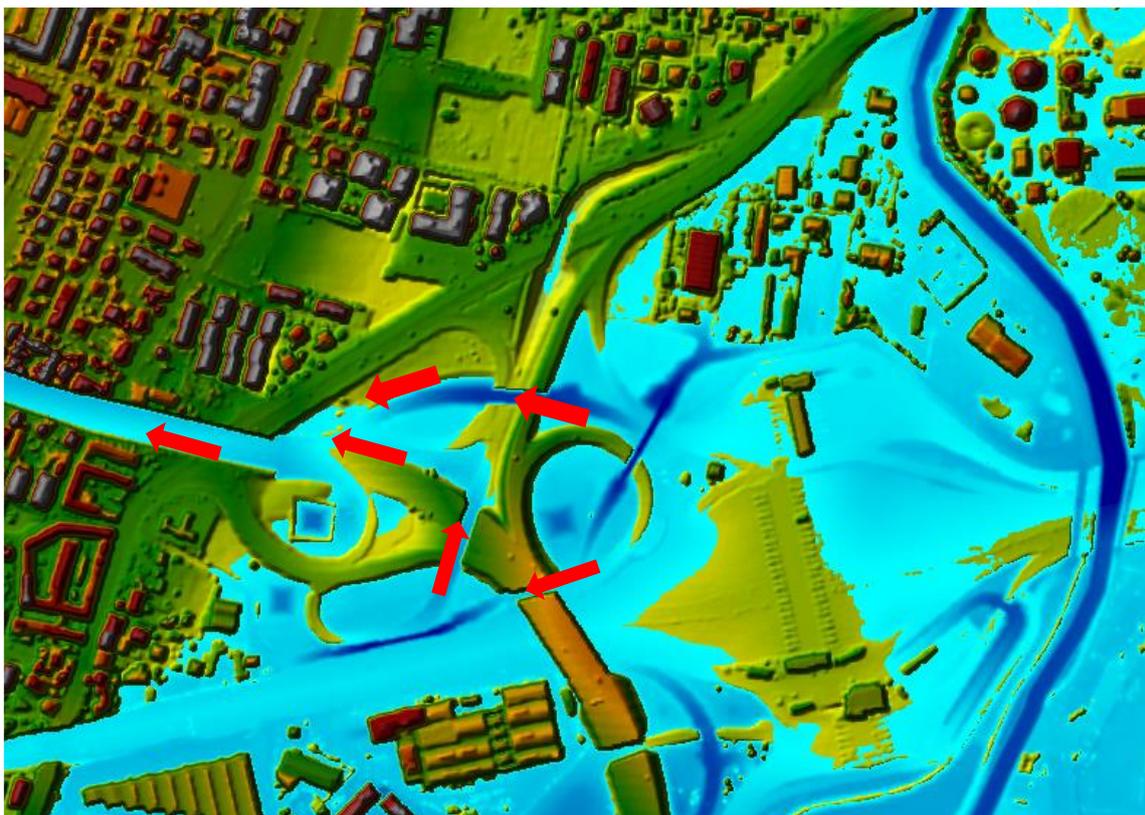


Figura 6.24: Dinamica di propagazione delle piene del Lambro nello stato di fatto.

Una volta terminato l'evento, si rileva la presenza diffusa di ristagni d'acqua nelle aree più depresse.

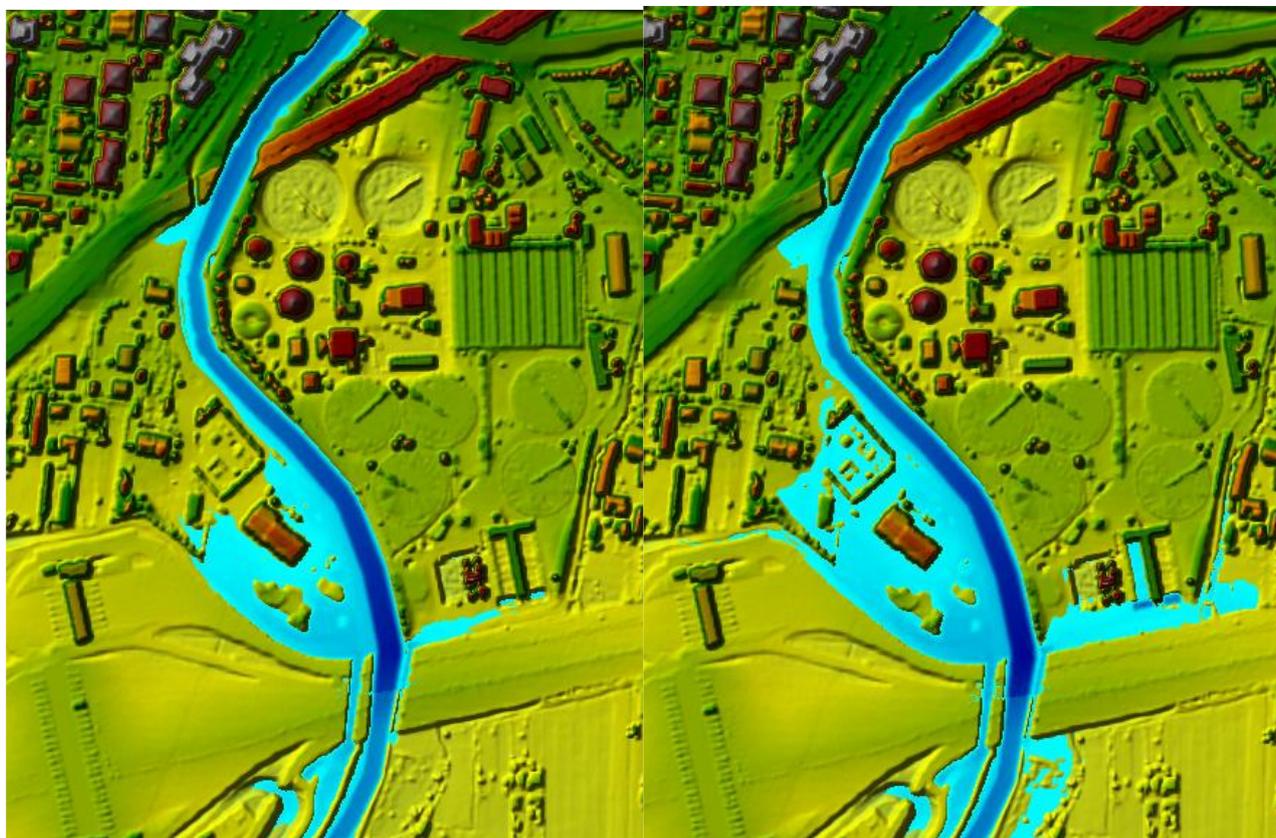


Figura 6.25: Simulazione alle ore 23:00 (a sinistra) e 23:45 (a destra) del 26 novembre 2002.



Figura 6.26: Simulazione alle ore 00:45 del 27 novembre 2002.

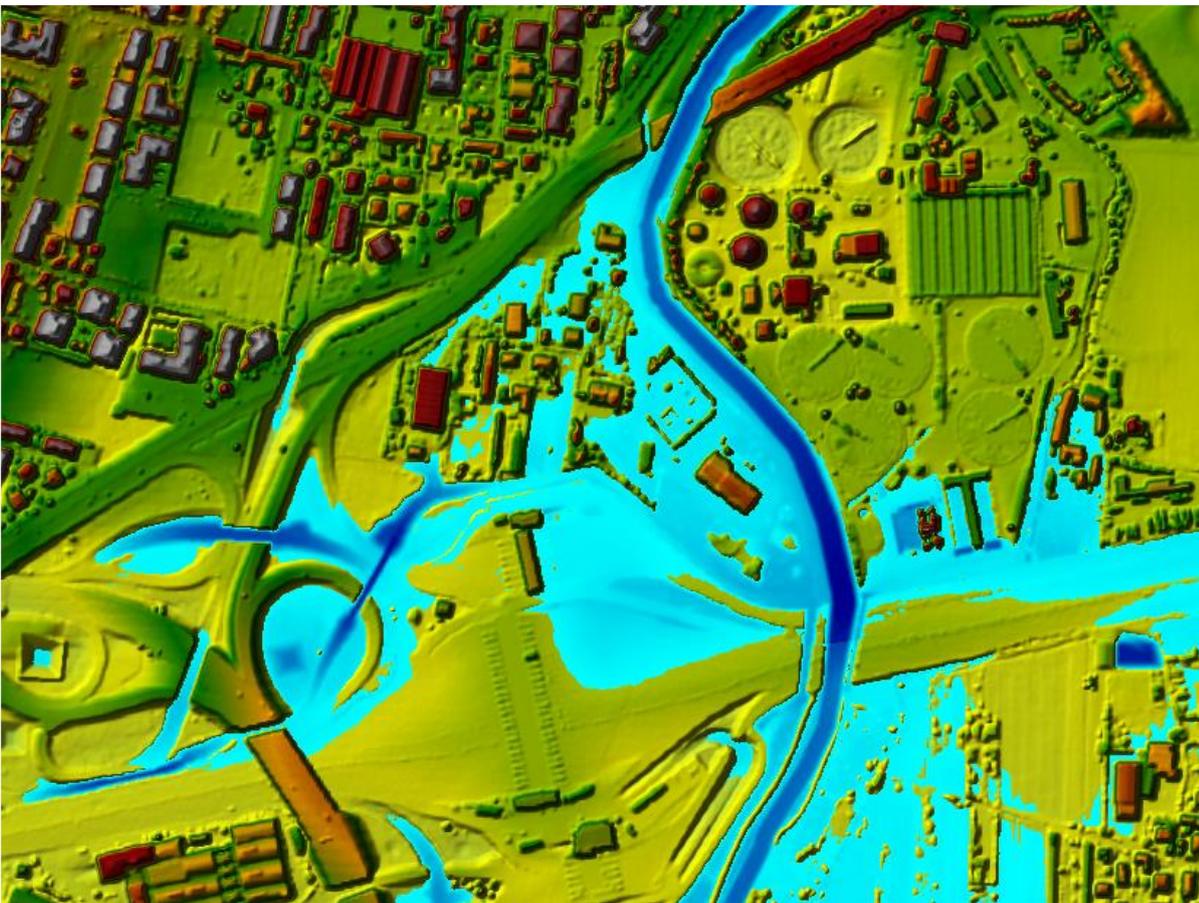


Figura 6.27: Simulazione alle ore 02:30 del 27 novembre 2002.



Figura 6.28: Simulazione alle ore 05:15 del 27 novembre 2002.

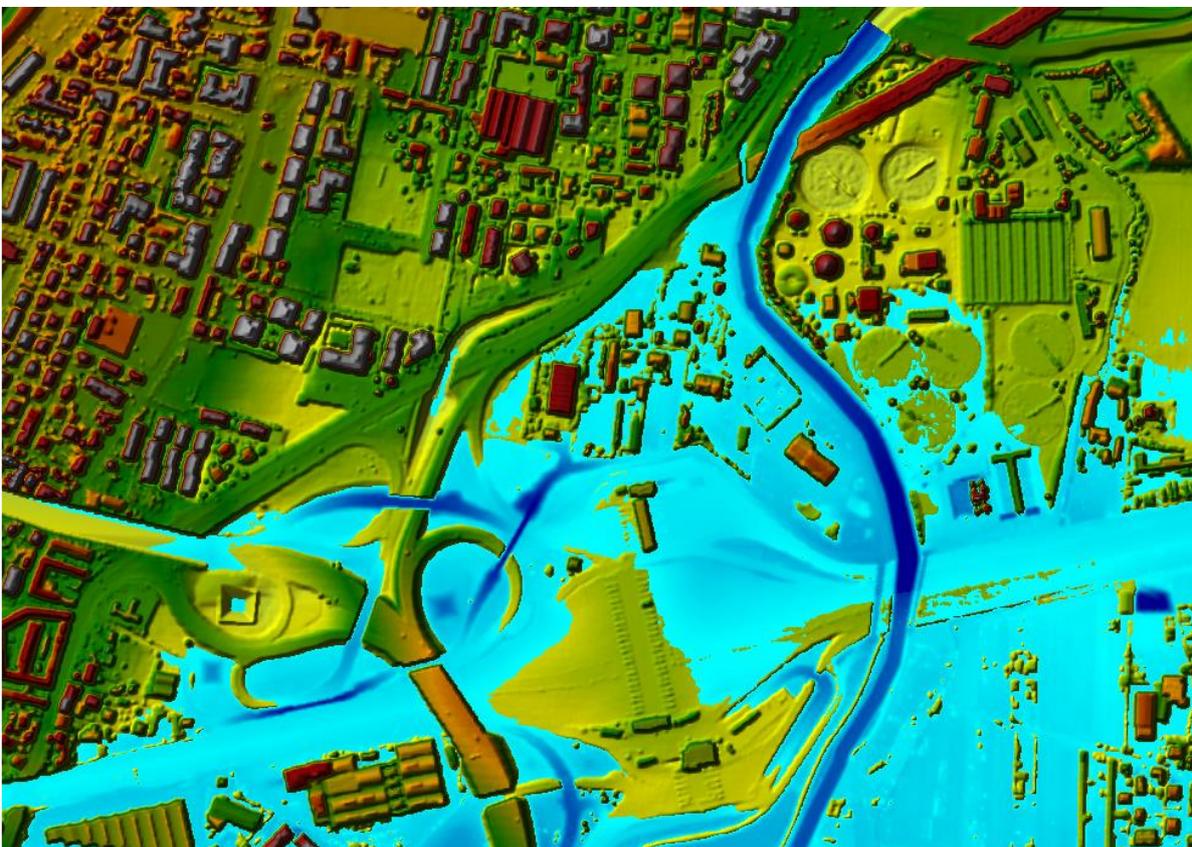


Figura 6.29: Simulazione alle ore 05:45 del 27 novembre 2002.



Figura 6.30: Simulazione alle ore 06:45 del 27 novembre 2002.



Figura 6.31: Simulazione alle ore 09:00 del 27 novembre 2002.



Figura 6.32: Simulazione con i massimi tiranti di allagamento.

Relativamente alla profondità della corrente i massimi tiranti riscontrati sono significativi nel territorio urbanizzato comunale soggetto ad allagamenti, con valori generalmente compresi tra 1 e 2.5 m a sud della A4 e tra 0.5 e 1.5 m a nord della stessa.

Dall'analisi dei dati sopra riportati appare critica la situazione dei vari sottopassi, dove vi sono tiranti idrici elevati, essendo ribassati rispetto al piano campagna per consentire il passaggio sotto altre viabilità. Nello specifico il sottopasso esistente dopo il casello dello svincolo della tangenziale nord ha un tirante di 5.7 m, mentre via Somalia 7.4 m; l'asse principale della tangenziale nord raggiunge al massimo 3.7 m.

Per quanto riguarda le velocità, si osservano in generale valori bassi, eccetto che lungo l'asta del Lambro, dove le velocità si attestano generalmente a 2-3 m/s e in alcune aree interne allo svincolo, con valori prossimi a 2 m/s.

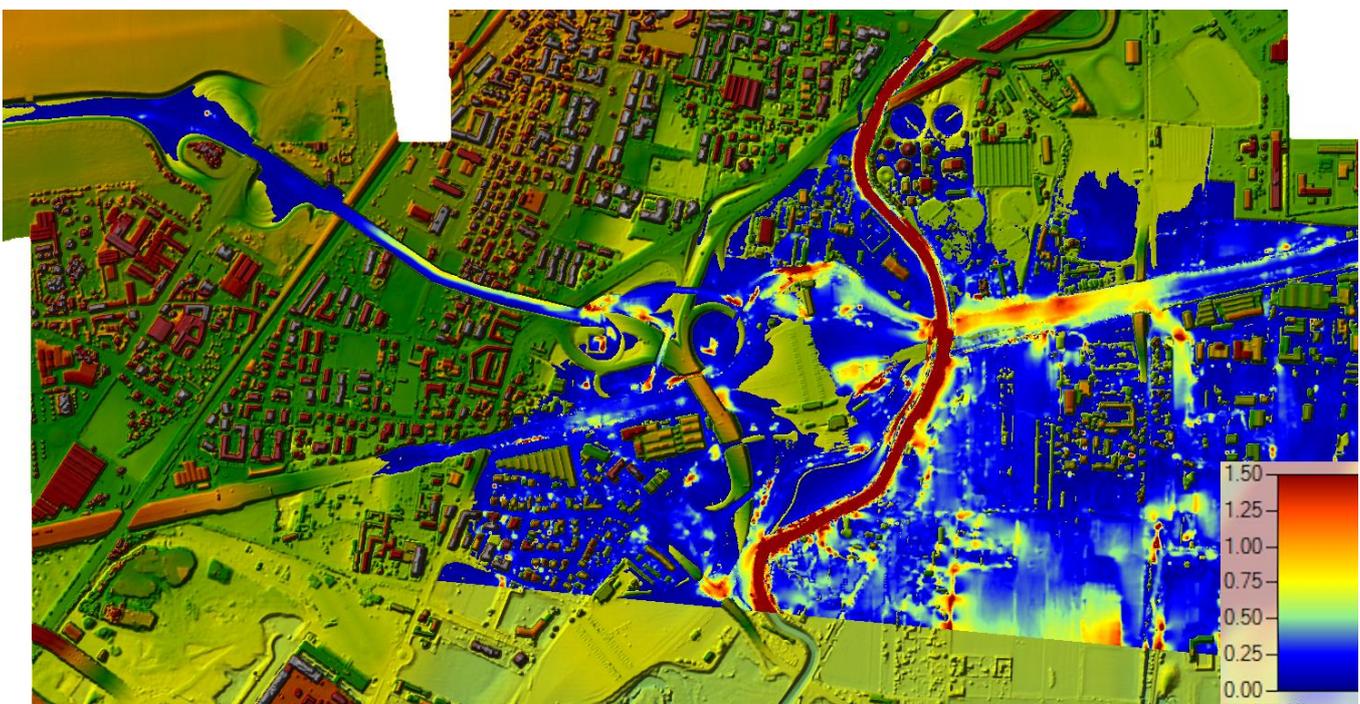


Figura 6.33: Velocità massima della corrente nella simulazione 2D dello stato di fatto Tr 200 anni.

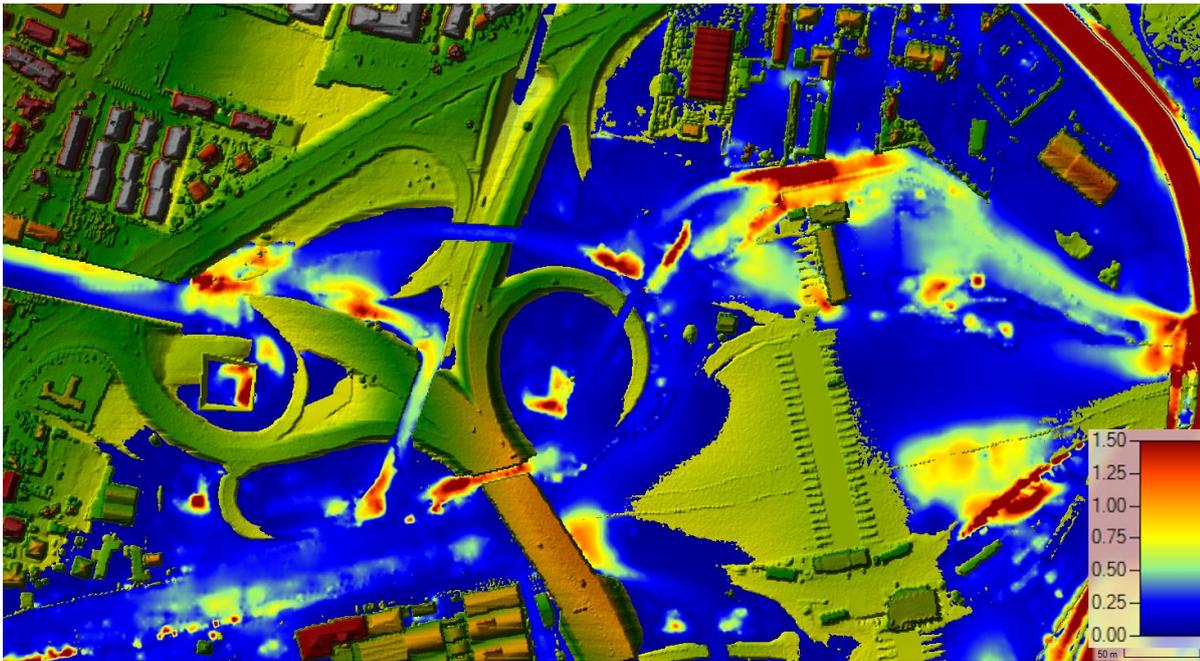


Figura 6.34: Velocità massima della corrente nella simulazione 2D dello stato di fatto Tr 200 anni nell'area dello svincolo.

Nella successiva figura si mostra la direzione dei flussi nell'area esaminata.

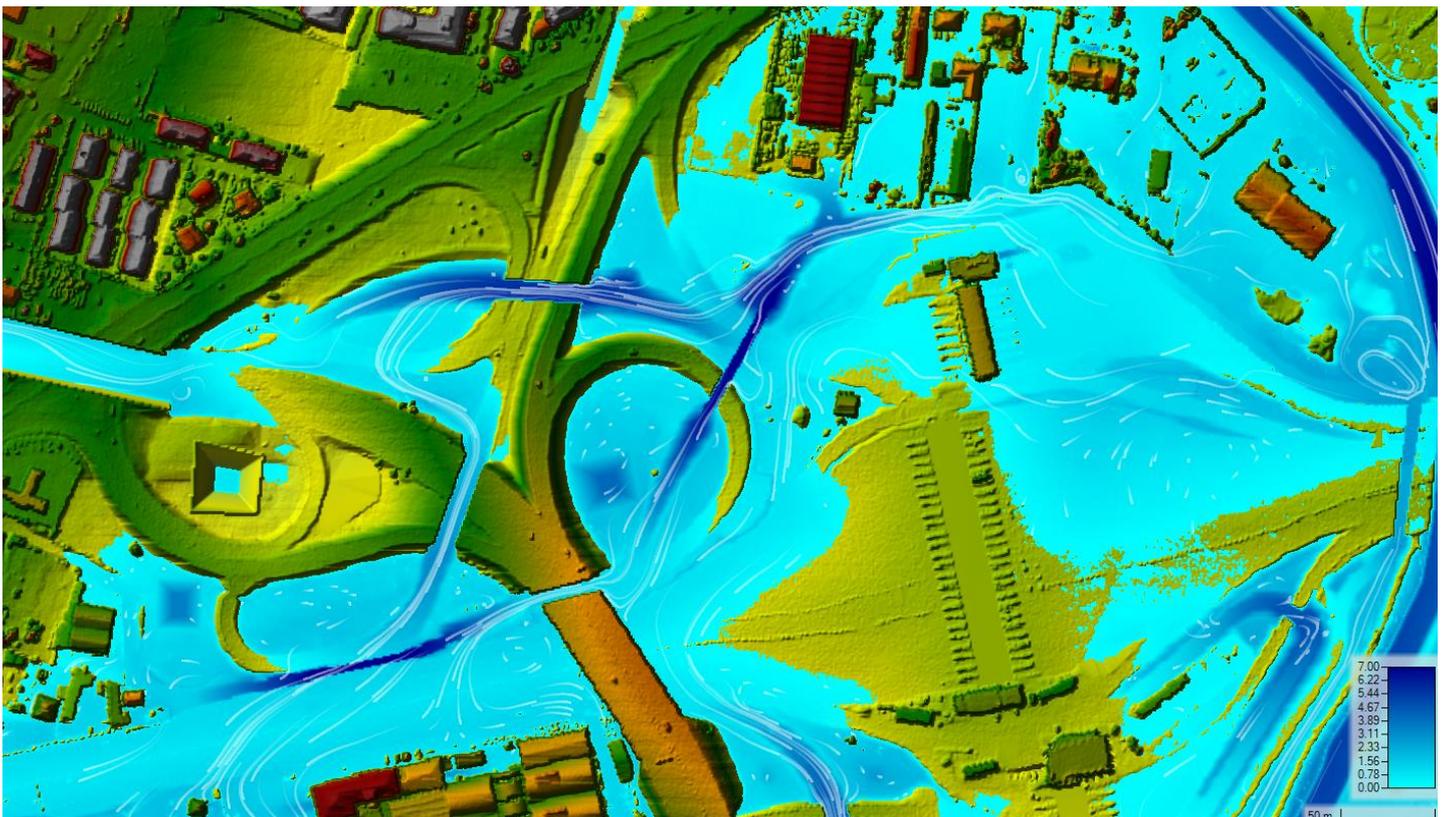


Figura 6.35: Carta dei flussi nella simulazione 2D dello stato di fatto Tr 200 anni nell'area dello svincolo.

Per quanto riguarda la capacità di laminazione dell'alveo, la massima portata transitante a valle della A4 è di $290 \text{ m}^3/\text{s}$, dunque si ha solo una modesta laminazione ($5 \text{ m}^3/\text{s}$).

6.8 SIMULAZIONE DI PROGETTO E RISULTATI

Il modello dello stato di fatto è stato poi modificato inserendo la livelletta di progetto nel modello tridimensionale dell'area.

Durante l'iter progettuale era stata scelta inizialmente una soluzione che prevedeva una pendenza unica della strada diretta dal sottopasso esistente verso l'uscita della galleria verso ovest. Questa soluzione tuttavia implicava che si avrebbe avuto un maggior flusso diretto verso la tangenziale nord, a causa delle quote più basse in corrispondenza dell'imbocco della galleria. In sintesi gli allagamenti avrebbero interessato con maggior velocità l'asse principale della tangenziale nord in quanto si sarebbero avuti due flussi contemporanei: quello lungo l'asse principale e quello lungo la nuova viabilità. Per questo motivo si è proceduto a modificare la livelletta di progetto della nuova viabilità facendo una sorta di dosso in corrispondenza dell'imbocco della nuova galleria a quota pari a 144 m s.l.m., cioè un valore simile a quello dell'esistente asse principale della tangenziale. Non è stato possibile alzare la quota oltre questo valore in quanto non si avrebbe lo spazio sufficiente a passare sotto via Marconi e non risulta neanche fattibile pensare al rialzo di questa viabilità, essendo presenti diversi accessi a proprietà private, inoltre una modifica di tal genere implicherebbe anche pendenze non accettabili lungo l'asse stradale.

Come successiva modifica si è introdotta in progetto un'arginatura nel tratto compreso tra lo svincolo proveniente da via Marconi e l'asse principale, rappresentati nella successiva immagine.

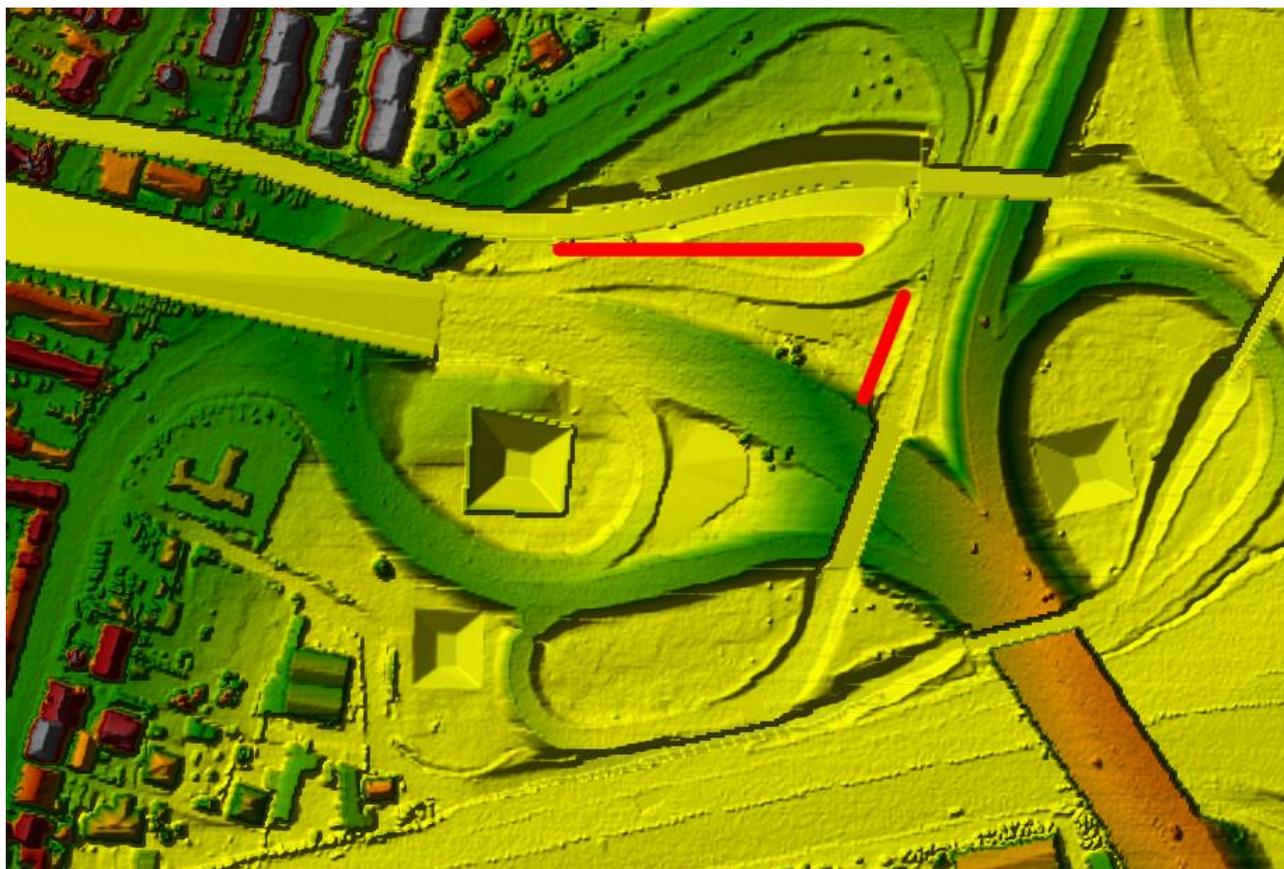


Figura 6.36: Modifica del DTM dello stato di fatto con l'inserimento di arginature in rosso nei pressi dell'imbocco est della galleria.

L'introduzione delle arginature implica che, in caso di esondazione del Lambro, non si abbia più la fuoriuscita di acqua proveniente da sud, come avviene invece nello stato di fatto, rappresentato nella Figura 6.24. Con solo questa variazione dunque la situazione di rischio non si modifica rispetto allo stato di fatto in quanto non si ha più l'interessamento diretto della tangenziale nord da parte degli allagamenti, che invece si

propagherebbero lungo la viabilità in progetto per poi interessare l'asse principale con flusso diretto da ovest verso est, come visibile nella successiva figura. Conseguentemente le aree allagate non si modificherebbero.

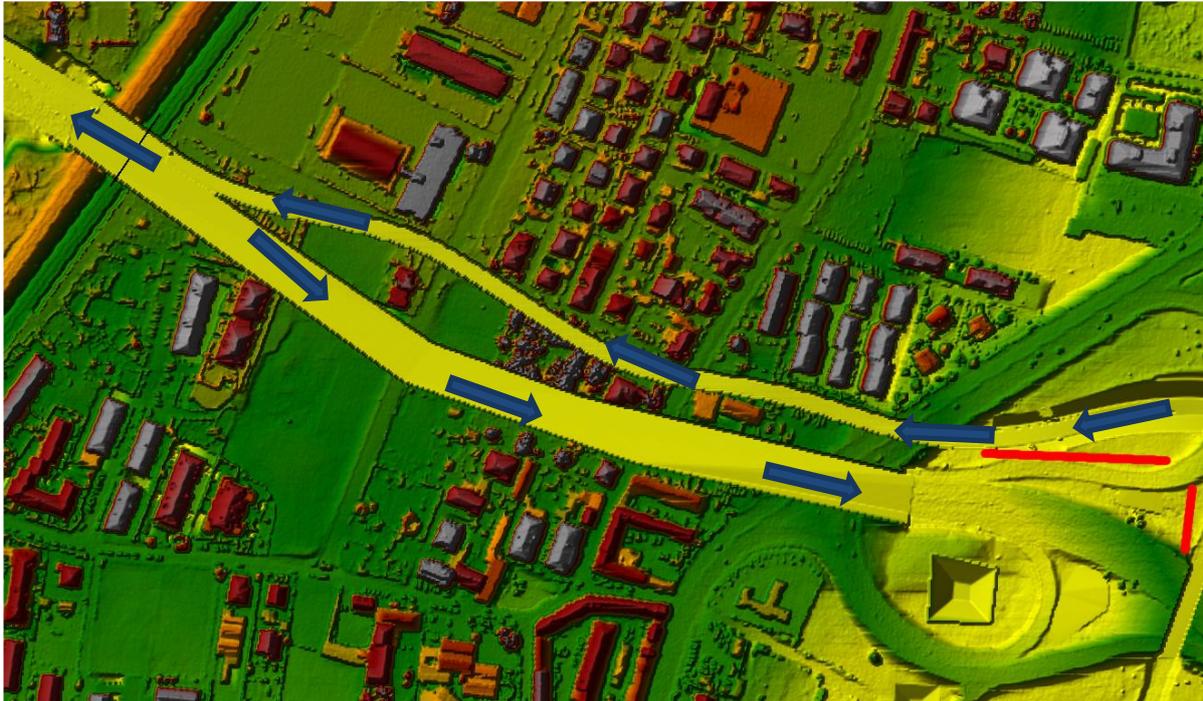


Figura 6.37: Modifica della dinamica di propagazione delle esondazioni nel caso di inserimento degli argini. Con frecce blu la direzione del flusso.

Il successivo approfondimento progettuale è stato svolto al fine di identificare possibili soluzioni per evitare la propagazione delle piene lungo la viabilità in progetto. Dato che, come detto, non si può agire sulla livelletta stradale, oltre i valori presi in considerazione, si è scelto di posizionare in caso di necessità delle panconature metalliche rimovibili lungo la nuova viabilità. In caso di allerta di piena, con elevati livelli idrici nel Lambro, si procederà dunque ad inibire il transito di automezzi lungo l'asse in progetto e saranno posizionate queste strutture che eviteranno la propagazione degli allagamenti lungo la nuova viabilità e conseguentemente lungo l'asse principale.

Per la scelta di dove ubicare le panconature si è svolta un'analisi su due possibili soluzioni rappresentate nella successiva figura: presso il sottopasso di via Somalia e presso l'imbocco della nuova galleria.

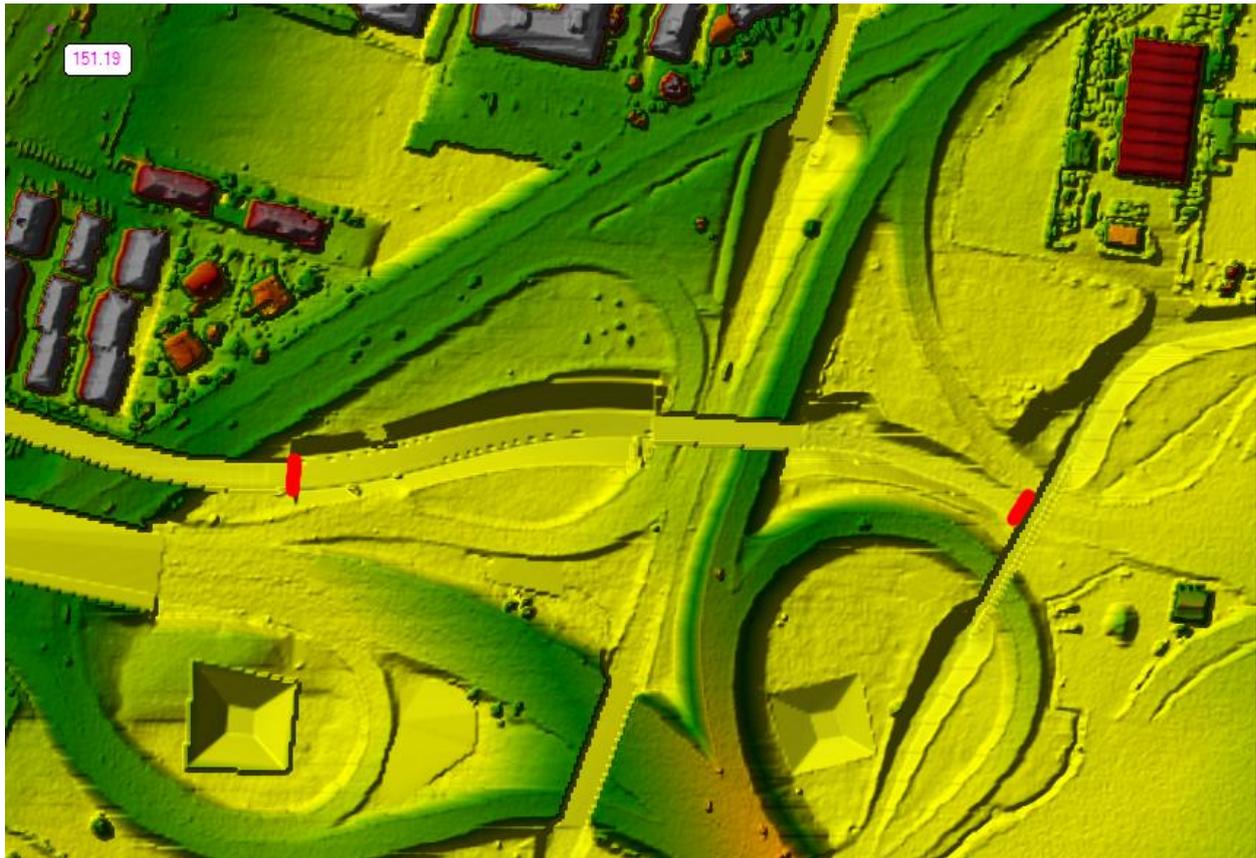


Figura 6.38: In rosso sono evidenziati due punti alternativi dove si potrebbero posizionare le panconature.

La prima scelta avrebbe il vantaggio di avere un'altezza delle panconature più ridotta rispetto alla seconda in quanto la viabilità presenta una quota maggiore di circa 1 m rispetto all'imbocco della galleria. Di per contro sarebbe necessario realizzare anche degli argini in calcestruzzo a fianco alla stessa per evitare l'entrata di acqua dai bordi laterali.

Per valutare tuttavia quale soluzione fosse idraulicamente la migliore sono stati predisposti due modelli idraulici bidimensionali con l'introduzione delle suddette panconature. Gli allagamenti di progetto sono riportati nelle seguenti immagini.

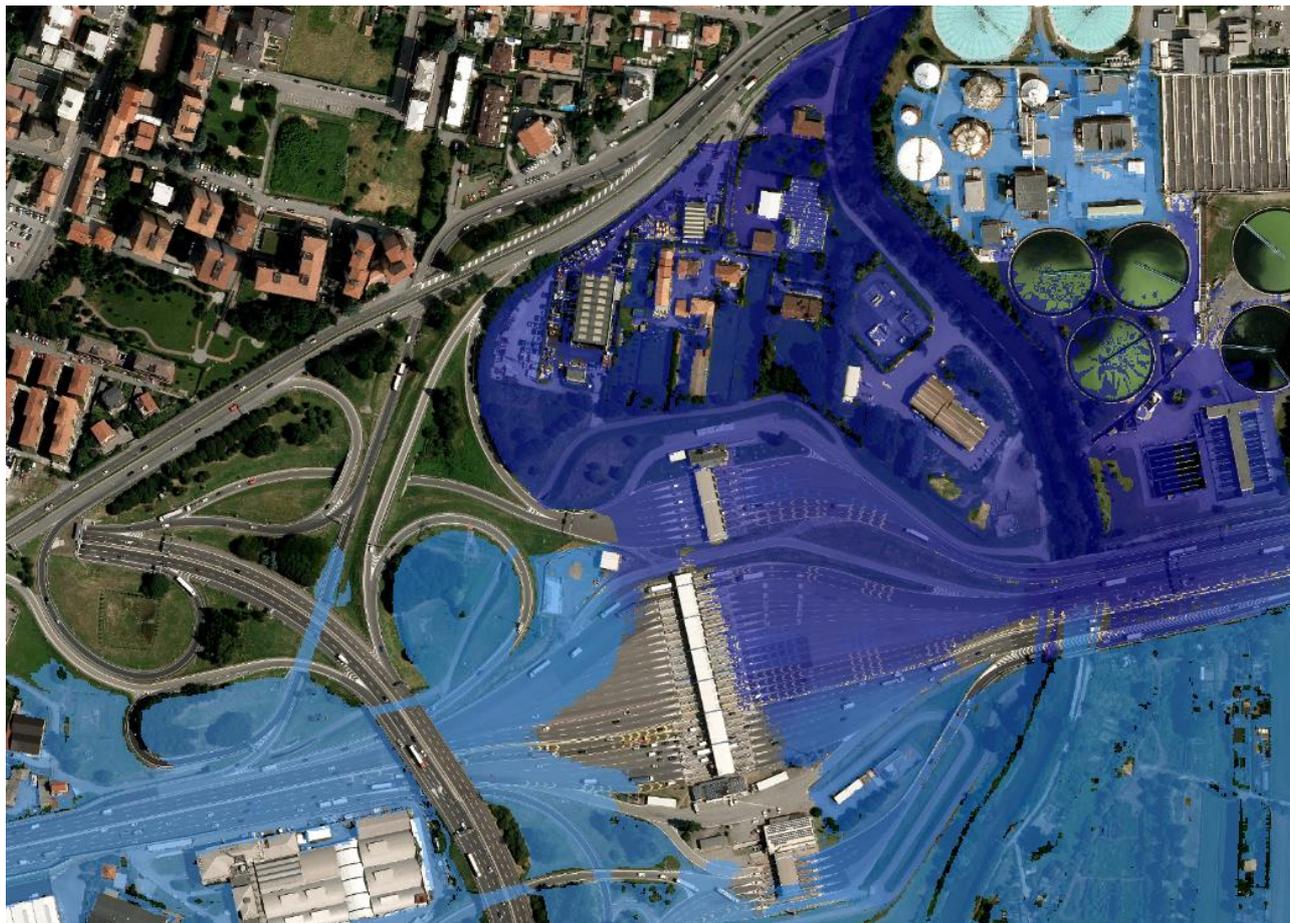


Figura 6.39: Allagamenti di progetto nel caso di posizionamento della panconatura sopra via Somalia. Base cartografica ortofoto 2018 Regione Lombardia.



Figura 6.40: Allagamenti di progetto nel caso di posizionamento della panconatura all'imbocco della galleria. Base cartografica ortofoto 2018 Regione Lombardia.

Si è quindi ricavata una cartografia del massimo livello idrico nelle due soluzioni e la si è confrontata con lo stato di fatto, al fine di verificare le modifiche ai livelli idrici nell'area esaminata. Come si vede dai risultati delle simulazioni riportati nelle successive figure, l'introduzione della panconatura sopra via Somalia implicherebbe dei livelli idrici più alti rispetto allo stato di fatto nella zona immediatamente a monte della stessa. La variazione del livello idrico è stata ritenuta inaccettabile in quanto interesserebbe anche l'area urbana con differenze anche di 35 cm.

Al contrario la seconda simulazione ha mostrato come le variazioni dovute alla seconda ipotesi progettuale sono limitate. Nella zona urbana il livello idrico ha un incremento medio di pochi centimetri. Si hanno variazioni più rilevanti nelle aree a verde attorno al sottopasso di via Somalia (fino a 20 cm).

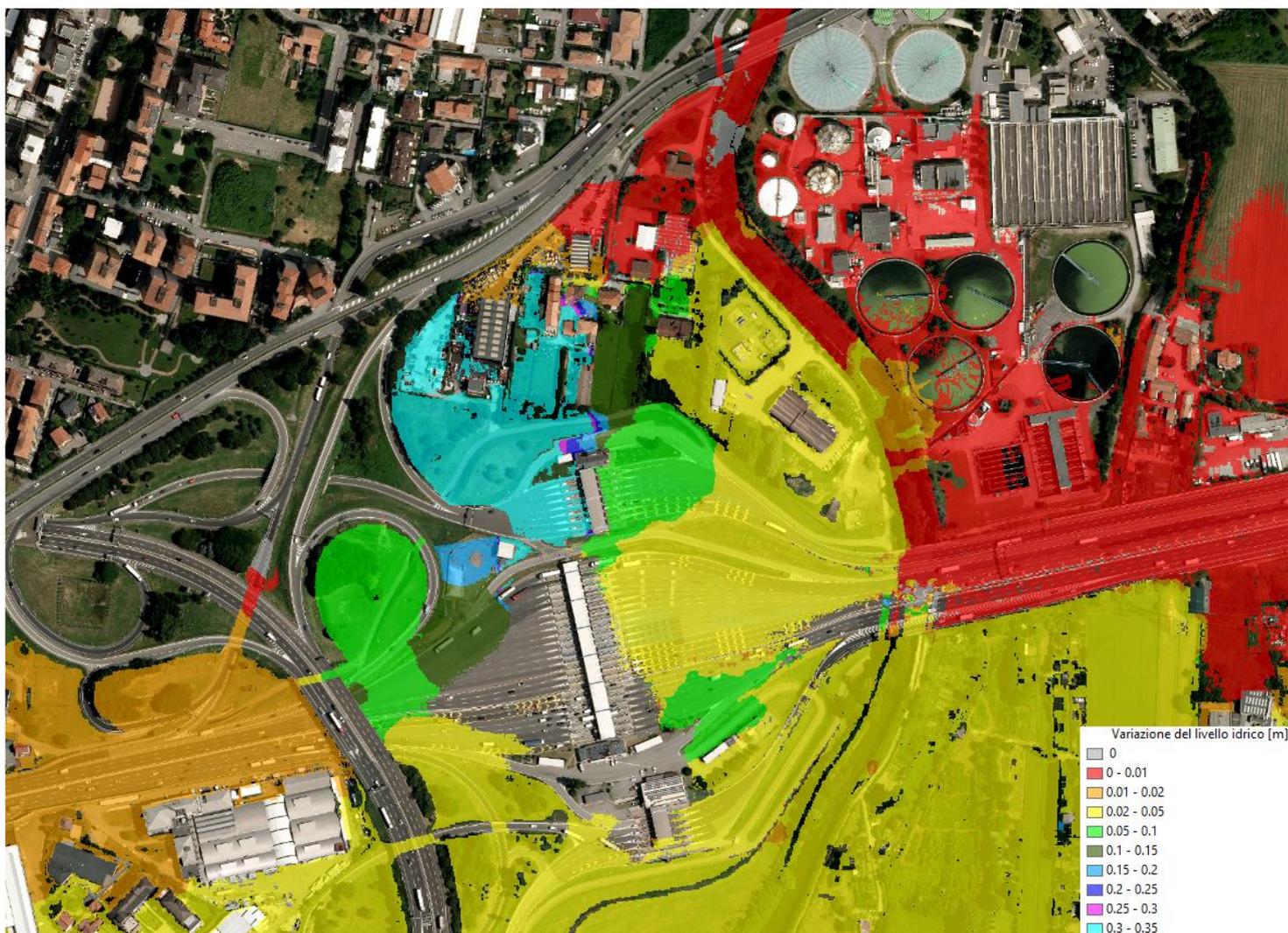


Figura 6.41: Differenza di livello idrico tra stato di fatto e progetto nel caso di posizionamento della panconatura sopra via Somalia. Base cartografica ortofoto 2018 Regione Lombardia.

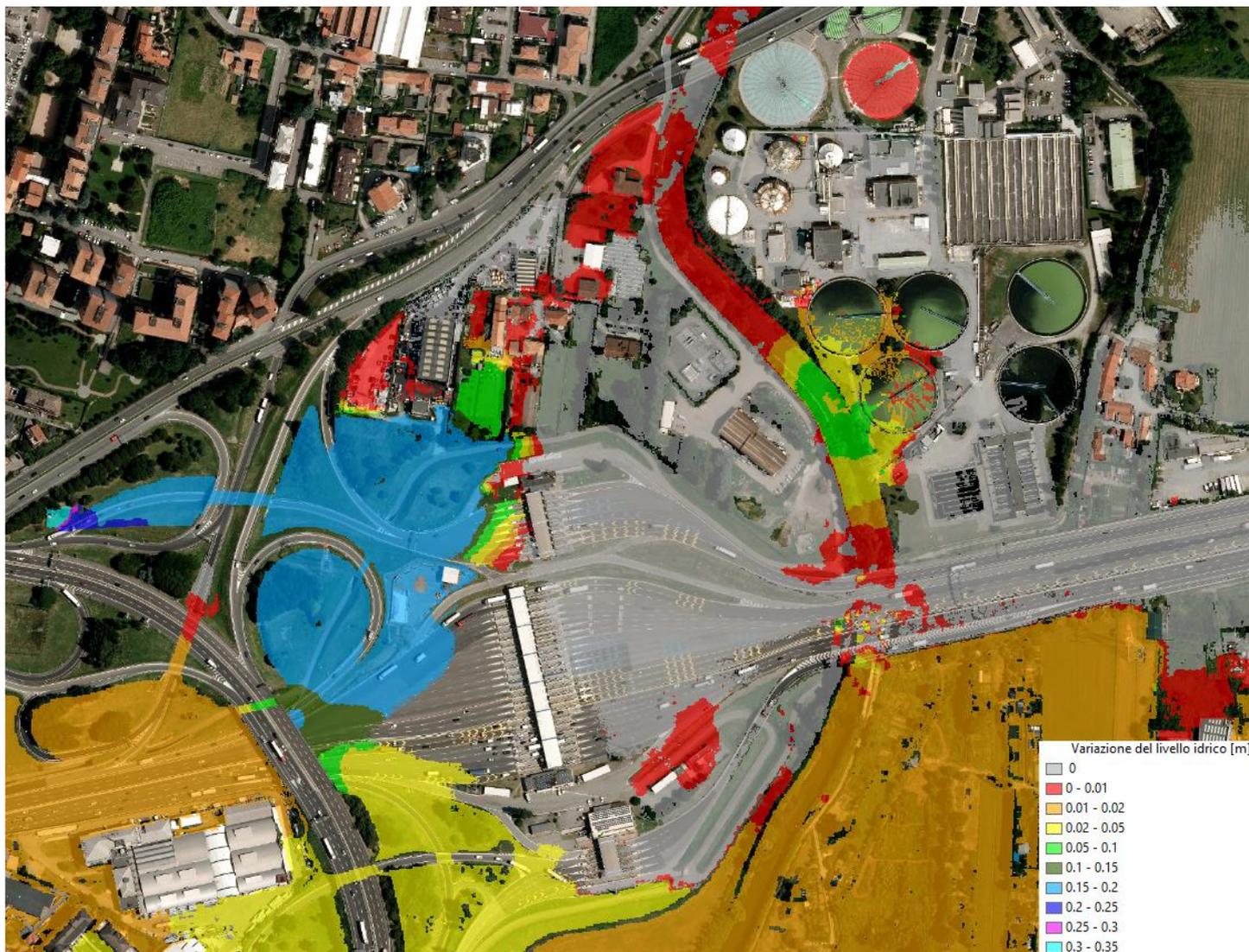


Figura 6.42: Differenza di livello idrico tra stato di fatto e progetto nel caso di posizionamento della panconatura all'imbocco della galleria. Base cartografica ortofoto 2018 Regione Lombardia.

Infine si è verificato che la soluzione di progetto non determini allagamenti in altre aree non interessate dalla piena nello stato di fatto. Come si vede nella successiva immagine le variazioni sono molto limitate ed interessano esclusivamente aree a verde.

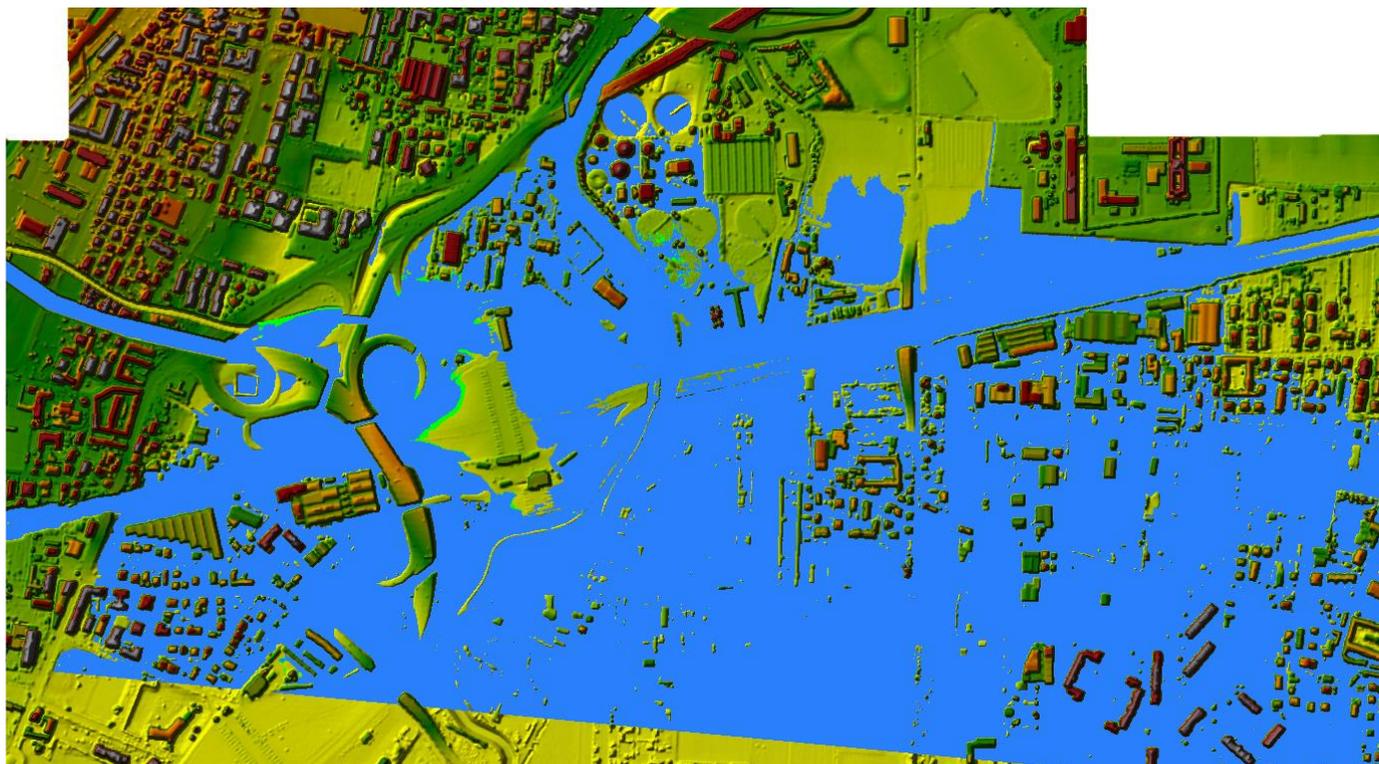


Figura 6.43: Modifica delle aree di esondazione tra stato di fatto (in blu) e progetto (in verde chiaro) nel caso di posizionamento della panconatura all'imbocco della galleria.

Per conseguire questi risultati le panconature e le arginature devono raggiungere una quota di almeno 147 m s.l.m..

7 CONCLUSIONI

Come menzionato in precedenza, sulla base dei risultati dello studio di dettaglio bidimensionale dello Studio Pacheco, alla base della pianificazione comunale, del PGRA e delle simulazioni svolte dagli scriventi nell'ambito della presente progettazione, l'area di inizio dell'intervento in progetto risulta inclusa in zone a rischio allagamento. Lo studio in esame ha mostrato tuttavia come tutto questo tratto della tangenziale nord sia a rischio e non solamente gli svincoli, come riportato nei precedenti atti pianificatori.

Alla luce di ciò si è previsto di rialzare il più possibile la livelletta stradale in corrispondenza dell'imbocco della nuova galleria, in maniera tale da fungere da primo presidio idraulico. Secondariamente si è scelto di posizionare delle arginature e delle panconature di emergenza che verranno posizionate all'occorrenza all'imbocco della galleria in progetto. Questi presidi consentono di salvaguardare sia la nuova viabilità che l'asse principale dagli allagamenti.

In merito al restante sviluppo del progetto, questo non risulta interferente con il RIM e si prevede l'applicazione di misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica senza modificare la regimazione delle acque e senza incrementi degli impianti ai ricettori.

Ai fini della valutazione di compatibilità dell'intervento sono stati valutati i seguenti punti costituenti gli effetti del progetto sul tronco di corso d'acqua interessato, in coerenza con la "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 maggio 1999 ed aggiornata con deliberazione n. 10 del Comitato Istituzionale del 5 aprile 2006.

E.1. Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena. Rappresentano l'effetto di restringimenti di sezioni o di ostacoli al deflusso nel tratto di corso d'acqua interessato derivanti dall'intervento: le modifiche devono essere quantificate sulla base del confronto tra il profilo di piena in condizioni indisturbate e quello a intervento

realizzato; vanno inoltre evidenziati, qualora presenti, effetti temporanei dello stesso tipo connessi alle fasi di realizzazione dell'opera.

Il profilo di piena non viene modificato in quanto non vi sono variazioni significative della geometria dell'alveo. La quota di piena sul Lambro a monte della A4 è la medesima tra la simulazione dello stato di fatto e di progetto.

E.2. Riduzione della capacità di invaso dell'alveo. Vanno quantificate, ove presenti, le riduzioni delle superfici allagabili causate dalla realizzazione dell'intervento e l'effetto delle stesse in termini di diminuzione della laminazione in alveo lungo il tratto fluviale, per mezzo delle simulazioni idrauliche di cui ai punti precedenti mettendo in evidenza la riduzione del volume di invaso e il corrispondente aumento del colmo di piena.

Le modifiche introdotte (panconature e argini) comportano rialzi del tutto contenuti dei tiranti, che si mostrano apprezzabili solo nelle aree a verde più prossime allo svincolo. Dunque la riduzione della capacità di laminazione del territorio è del tutto limitata.

E.3. Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti. Vanno evidenziate localizzazione e caratteristiche strutturali degli elementi costituenti parte delle opere in progetto che danno luogo alle possibili interazioni e gli accorgimenti adottati (distanze di rispetto, soluzioni costruttive) per garantire l'assenza di effetti negativi sulla stabilità e sull'efficienza di funzionamento delle opere idrauliche.

Sono previste arginature e panconature posizionate nel tratto di imbocco della nuova galleria in progetto. Tali strutture sono realizzate in aree esterne all'alveo del Lambro, a notevole distanza da quest'ultimo e non hanno interazione con le strutture esistenti.

E.4. Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento. Nel caso in cui l'intervento in progetto comporti la necessità di realizzare opere idrauliche di sistemazione dell'alveo, queste ultime vanno definite a livello di progetto definitivo, esplicitandone la compatibilità e l'integrazione con le opere idrauliche esistenti.

Le opere idrauliche previste (arginature e panconature) sono state studiate in maniera tale da determinarne la quota massima ed è stata validata la loro efficacia, in termini di riduzione degli allagamenti lungo la viabilità.

E.5. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico e altimetrico dell'alveo di inciso e di piena. Valutazione degli effetti della soluzione progettuale proposta per l'intervento in rapporto all'assetto morfologico attuale dell'alveo e alla sua prevedibile evoluzione, con evidenziazione degli elementi che garantiscono l'assenza di modificazioni indotte sia sull'alveo inciso (effetti erosivi di fondo e/o di sponda, modificazioni di tracciato planimetrico) che su quello di piena (attivazione di vie di deflusso preferenziali incompatibili con l'assetto e le opere esistenti).

Per quanto concerne l'aspetto morfologico plano-altimetrico, è stato valutato dagli scriventi, come le opere in progetto non abbiano alcuna influenza sull'evoluzione morfologica del tratto di fiume interessato, vista la notevole distanza tra gli interventi e il fiume.

E.6. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale. Vanno evidenziate le modificazioni conseguenti alla realizzazione dell'opera e gli interventi di mitigazione adottati, con particolare riferimento alle emergenze connesse al sistema fluviale e alle componenti naturalistiche, ambientali e paesistiche più sensibili nei confronti degli effetti indotti dalla realizzazione dell'opera.

In ambito paesaggistico, le opere in progetto hanno scarso impatto, essendo posizionate all'interno di un'area a funzione prettamente stradale.

E.7. Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena. Vanno evidenziate le condizioni di stabilità delle opere costituenti l'intervento in relazione alle sollecitazioni derivanti dalle condizioni di deflusso in piena con riferimento in particolare agli effetti connessi ai livelli idrici di piena e a quelli derivanti dell'azione erosiva della corrente sulle strutture e sulle fondazioni. Vanno inoltre evidenziati gli accorgimenti e le misure tecniche adottati al fine di evitare condizioni di pericolo per le persone e di danno per i beni, come pure le eventuali riduzioni temporanee di funzionalità dell'intervento connesse al verificarsi di un evento di piena.

Le condizioni di stabilità delle opere in progetto sono state accuratamente valutate dai progettisti. Le panconature dovranno essere posizionate con opportuno anticipo rispetto all'evento di piena, facendo riferimento sia alle previsioni idrometeorologiche che a sensori di livello ubicati lungo il Lambro.

8 APPENDICE A: CODICE DI CALCOLO HEC – RAS

Il software utilizzato nel presente studio è HEC-RAS 6.2.

Il pacchetto software HEC-RAS 6.2 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers è uno strumento di calcolo idraulico dalla consolidata affidabilità, ampiamente utilizzato in campo internazionale e nazionale. HEC-RAS permette di condurre l'analisi idraulica monodimensionale sia a moto permanente che vario e nella versione utilizzata consente di svolgere anche analisi idraulica bidimensionale a moto vario o monodimensionale integrata a bidimensionale. L'interfaccia utente (Graphical User Interface GUI) permette un agevole inserimento di dati ed una pronta analisi dei risultati. La possibilità di georeferenziare le sezioni introdotte permette una intuitiva rappresentazione grafica dei risultati. Questo strumento di calcolo è dotato anche di visualizzatore interno GIS che consente di rappresentare sia la geometria di calcolo, sia i risultati che eventuali mappe di sfondo e si può interfacciare con altri software GIS.

Il modello idraulico costruito con il codice di calcolo HEC-RAS permette di valutare tutte le grandezze idrauliche di interesse per una corrente gradualmente variata in regime subcritico, supercritico o misto.

Tale codice di calcolo è basato essenzialmente sull'integrazione, alle differenze finite, dell'equazione dell'energia di una corrente. Le perdite di energia sono valutate mediante il coefficiente di scabrezza di Manning per le perdite distribuite e mediante i coefficienti di contrazione ed espansione della corrente per valutare le perdite concentrate dovute alla variazione della sezione trasversale. Nella simulazione del moto vario il modello utilizza il motore di calcolo UNET sviluppato dal Dr. Robert L. Barkau's. UNET risolve le equazioni complete di De St. Venant utilizzando uno schema di risoluzione implicito alle differenze finite. Tale schema di calcolo è stato sviluppato per il moto vario in corrente subcritica.

Lo schema di risoluzione utilizza il metodo di Newton-Raphson iterativo per risolvere equazioni non lineari. Tale codice di calcolo, comunque, pur utilizzando una soluzione linearizzata, per una corrente subcritica fornisce risultati affidabili e stabili, avendo l'accortezza di utilizzare intervalli di calcolo sufficientemente ridotti. Permette inoltre di simulare in modo efficace le singularità introdotte nel modello: ponti, tratti tombinati, invasi in linea e in derivazione, sfioratori in linea, sfioratori laterali, luci a battente.

I profili di corrente sono calcolati risolvendo, mediante procedura iterativa (standard step method) la seguente equazione del bilancio dell'energia fra due sezioni:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 : Altezze idriche in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,
- Z_1, Z_2 : Quote dei punti di thalweg in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,
- V_1, V_2 : Velocità medie,
- α_1, α_2 : Coefficienti di perdita,
- g : Accelerazione di gravità,
- h_e : Perdite fra le sezioni calcolate con la seguente espressione:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

- L : Distanza fra le sezioni pesata sulle portate,
- S_f : Pendenza della linea dell'energia per le perdite distribuite,
- C : Coefficiente di espansione o contrazione.

Per distanza fra le sezioni pesata sulle portate si intende la lunghezza calcolata con la seguente formula:

$$L = \frac{L_{lob}Q_{lob} + L_{ch}Q_{ch} + L_{rob}Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

dove:

- L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} : Distanza fra le sezioni specificata rispettivamente per la golena sinistra, per l'alveo e per la golena destra,
- Q_{lob} , Q_{ch} , Q_{rob} : Somme aritmetiche delle portate defluenti rispettivamente nella golena sinistra, nell'alveo e nella golena destra.

Le ipotesi alla base del modello monodimensionale sono le seguenti:

- Si ipotizza che il moto sia gradualmente variato, ovvero che, in corrispondenza di ciascuna sezione, vi sia una distribuzione idrostatica delle pressioni.
- In prossimità di singolarità, dove il moto diventa rapidamente variato, il programma utilizza in automatico, invece dell'equazione dell'energia, l'equazione dell'equilibrio delle spinte o altre equazioni empiriche.
- Il moto è ipotizzato monodimensionale.
- La pendenza del corso idrico è generalmente modesta.

Con il supporto del software HEC-RAS, è possibile calcolare, in tutte le sezioni di interesse del modello, le principali caratteristiche della corrente sia in moto permanente che vario. I dati necessari per la costruzione del modello sono i dati geometrici relativi alle sezioni, le distanze fra le sezioni, i coefficienti di scabrezza, i coefficienti di espansione e contrazione, la descrizione geometrica ed i parametri idraulici di eventuali strutture aggiuntive (ponti, traverse, sfioratori etc.). Oltre a questi dati occorre inserire le condizioni al contorno per il dominio di calcolo, che possono essere ad esempio l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme etc..

Nell'inserimento dei dati relativi alla geometria, HEC-RAS permette di georeferenziare sia il tracciato dell'asta fluviale, sia le sezioni fluviali, permettendo così la costruzione di una visualizzazione prospettica del modello e dei suoi risultati in termini di livelli idrici.

L'opzione "Ineffective Areas" permette di definire, per ciascuna sezione, una porzione della stessa che non partecipa attivamente al deflusso: in tali aree, soggette comunque ad allagamento, la velocità di deflusso è molto prossima allo zero. Il volume invasato è incluso nell'equazione di continuità, ma la porzione di perimetro bagnato relativo a tali aree non partecipa al calcolo delle perdite distribuite. Tali aree vengono di solito utilizzate in prossimità di strutture che ingombrano parte della sezione di deflusso e creano delle zone dove effettivamente la velocità di deflusso è prossima allo zero.

È inoltre possibile fissare una quota di disattivazione di tali aree; ovvero quando il livello idrico nella sezione raggiunge o supera tale valore la porzione di sezione viene attivata e partecipa al deflusso.

La contrazione e l'espansione della vena liquida fra due sezioni adiacenti è causa di perdite di carico valutate dal codice di calcolo come concentrate con l'utilizzo di opportuni valori del coefficiente C.

Tipici valori, nel caso di correnti lente variano fra 0.1 e 0.3 per il coefficiente di contrazione e fra 0.3 e 0.5 per il coefficiente di espansione. I valori più elevati sono tipici in prossimità dei restringimenti causati dall'ingombro delle spalle e delle pile dei manufatti di attraversamento.

Tali coefficienti sono quindi utilizzati per valutare le perdite di energia a valle e a monte dei ponti inseriti nel modello. Il programma ha la capacità di utilizzare approcci di calcolo differenti per simulare le diverse configurazioni del passaggio della corrente a seconda che l'altezza idrica interessi l'impalcato del ponte e che il deflusso sia in regime di corrente lenta o veloce o passi lo stato critico in corrispondenza dell'attraversamento.

Nel caso di corrente completamente subcritica che non interessa l'impalcato dei ponti, l'effetto di rigurgito indotto dalla presenza delle spalle può essere valutato dal programma mediante diverse opzioni:

- 1 - Standard Step Method,
- 2 - Bilancio delle spinte,
- 3 - L'equazione empirica di Yarnell,
- 4 - Il metodo FHWA WSPRO.

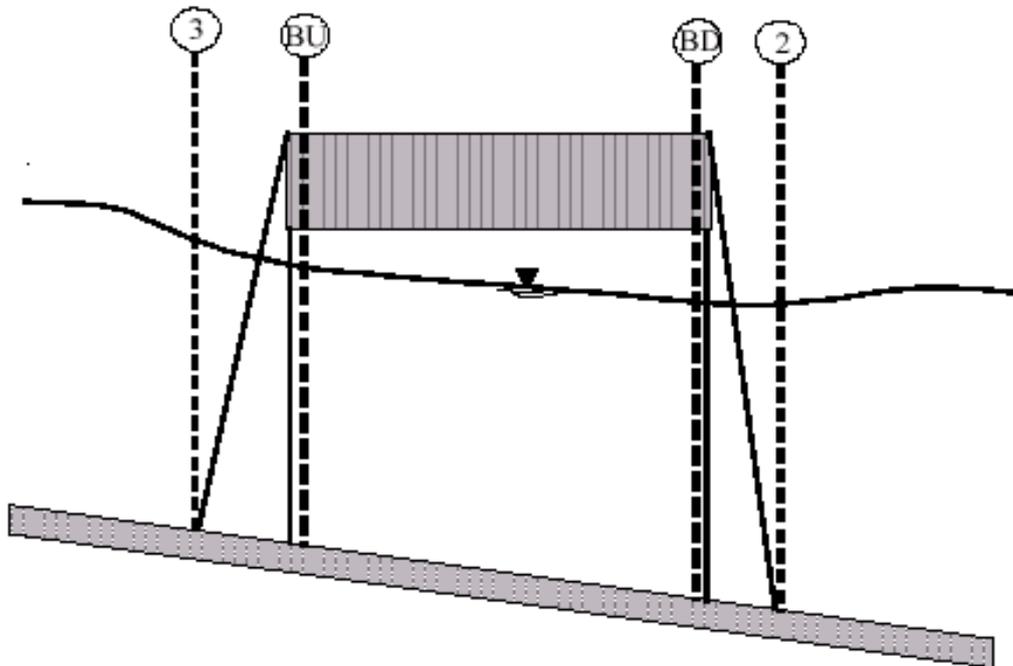


Figura 8.1: Profilo in corrispondenza di un ponte. (dal manuale di HEC-RAS).

Il bilancio delle spinte viene realizzato in un processo con tre step. Nel primo passo si valuta un bilancio tra la sezione 2 e la sezione BD con la seguente equazione:

$$A_{BD} Y_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 Y_2 + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} - A_{pBD} Y_{pBD} + F_f - W_x$$

dove:

- A_2, A_{BD} : area attiva rispettivamente alla sezione 2 e BD,
- A_{pBD} : area ostruita dalla pila nel lato verso valle,
- Y_2, Y_{BD} : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della corrente con area rispettivamente A_2 e A_{BD} ,
- Y_{pBD} : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della parte di pila sommersa nel lato verso valle,
- β_2, β_{BD} : coefficienti per la velocità nell'equazione di bilancio,
- Q_2, Q_{BD} : portata,
- g : accelerazione di gravità,
- F_f : forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua,
- W_x : forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del flusso, per unità di peso dell'acqua.

Nel secondo passaggio l'equazione di bilancio viene risolta tra le sezioni BD e BU:

$$A_{BU} Y_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} Y_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_x$$

Infine, nel terzo passaggio l'equazione di bilancio è fatta tra la sezione BU e la sezione 3:

$$A_3 Y_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} Y_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{p_{BU}} Y_{p_{BU}} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{p_{BU}} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x$$

- dove C_D è un coefficiente di flusso attorno alle pile.

L'equazione empirica di Yarnell, con riferimento alla figura precedente, è la seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V^2}{2g}$$

dove:

- H_{3-2} : dislivello nel pelo libero tra la sezione 3 e la sezione 2,
- K : coefficiente di Yarnell di forma delle pile,
- ω : rapporto dell'altezza cinetica sulla profondità alla sezione 2,
- α : area ostruita dalle pile divisa per l'area totale senza ostruzioni alla sezione 2,
- V : velocità a valle della sezione 2.

L'altezza del pelo libero nella sezione di monte dell'attraversamento è data dall'altezza a valle sommata alla quantità H_{3-2} , che rappresenta dunque il rigurgito provocato dal ponte.

Nel caso di analisi idraulica bidimensionale, si definisce l'area di calcolo che viene suddivisa in opportuna maglia con dimensioni definite dall'utente. A tal proposito è anche possibile inserire le Break Lines che consentono di migliorare la definizione della maglia di calcolo in prossimità di queste linee, in quanto una delle facce della maglia viene fatta coincidere con la break line stessa. L'utilizzo di queste linee è particolarmente importante nei punti ove possono esserci variazioni significative di quota (es. strade in rilevato, bordo argini o scarpate, etc.). La maglia di calcolo si interfaccia con il modello tridimensionale del terreno e con eventuali valori spaziali del coefficiente di Manning, definiti dall'utente in base ai differenti usi del suolo.

L'area 2D viene poi collegata al modello monodimensionale e/o alle condizioni al contorno nel caso di utilizzo di modello interamente bidimensionale. Può essere collegata al modello monodimensionale del canale mediante sfioratori laterali che simulano ad esempio il soprizzo delle sponde fluviali.

L'analisi bidimensionale utilizza le equazioni di Saint Venant o il modello 2D delle onde di diffusione.

Il risultato finale è una mappa che rappresenta l'analisi idraulica sviluppata sull'intera area 2D definita dall'utente. Nella mappa è possibile rappresentare le velocità, la profondità della corrente, le aree inondate etc. Tali risultati sono poi esportabili anche in GIS.

I risultati possono essere visualizzati sia come valore minimo che massimo, sia nell'intervallo temporale scelto dall'utente: è quindi possibile identificare le dinamiche di allagamento. A tal proposito particolarmente utile è anche la visualizzazione delle direzioni di flusso mediante frecce e il "particle tracking", che serve per identificare il moto del fluido.