



COMUNE DI COLOGNO MONZESE
Città Metropolitana di Milano

***Studio idraulico bidimensionale del fiume Lambro in
comune di Cologno Monzese***

Milano, novembre 2018

ELABORATO DA:



STUDIO MAJONE INGEGNERI ASSOCIATI

C.F. e P. IVA 13064000154

web: www.studiomajone.it

E-MAIL: SMIA@STUDIOMAJONE.IT

PEC: SMIA@PEC.STUDIOMAJONE.IT



STUDIO IDROGEOTECNICO S.r.l.
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
www.stuidrogeotecnico.com



COMUNE DI COLOGNO MONZESE

Città Metropolitana di Milano

STUDIO IDRAULICO BIDIMENSIONALE DEL FIUME LAMBRO IN COMUNE DI COLOGNO MONZESE

1. PREMESSA	2
2. GENERALITÀ SUL FIUME LAMBRO NEL TRATTO OGGETTO DI STUDIO	3
3. INFORMAZIONI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE PER LO STUDIO IDRAULICO.....	6
4. COSTRUZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO.....	11
5. STUDIO IDRAULICO BIDIMENSIONALE.....	14
5.1 IL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.5.....	14
5.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE	18
5.2.1 <i>Descrizione topografica dell'alveo</i>	18
5.2.2 <i>Descrizione geometrica delle aree golenali delle aree bidimensionali</i>	18
5.2.3 <i>Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza</i>	21
5.3 SIMULAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE E RISULTATI OTTENUTI	23
6. CONCLUSIONI	32

ELABORATO DA:

**STUDIO MAJONE**
INGEGNERI ASSOCIATI

DOTT. ING. ALESSANDRO BALBO

DOTT. ING. MARINA SIMONETTI

1. PREMESSA

La presente relazione descrive le attività inerenti la modellazione idraulica bidimensionale del Fiume Lambro in comune di Cologno Monzese nel tratto compreso tra il ponte dell'autostrada A4 Milano-Venezia e l'attraversamento del Naviglio Martesana per circa 7.0 km.

Come concordato preventivamente con il Comune di Cologno Monzese la modellazione idraulica è stata condotta considerando nell'assetto attuale del Lambro sia il by-pass di via San Maurizio al Lambro (progetto AIPO in corso di ultimazione) che le opere di difesa spondale in corrispondenza di via Barcellona, in quanto già pianificate e di prossima realizzazione.

Lo studio idraulico è stato condotto con riferimento alla piena T200 anni in accordo con gli strumenti di pianificazione vigenti.

Lo studio è stato svolto secondo le seguenti fasi:

- Rilievo topografico del fiume Lambro e delle opere di difesa attuali nel tratto compreso tra il ponte A4 e il Naviglio Martesana.
- Costruzione del modello digitale del terreno.
- Definizione dell'idrogramma di piena T200 anni in ingresso al modello idraulico e delle condizioni al contorno.
- Implementazione del modello idraulico bidimensionale.
- Individuazione delle aree allagabili per la piena con tempo di ritorno T200 anni.

2. GENERALITÀ SUL FIUME LAMBRO NEL TRATTO OGGETTO DI STUDIO

Il fiume Lambro ha origine dal lago di Pusiano e scorre in direzione Nord-Sud (fino alla confluenza nel Po) attraversando la zona urbana di Milano e del suo hinterland (Monza, Brugherio, Cologno Monzese, Sesto S. Giovanni ecc.).

Il corso d'acqua, come peraltro i corsi d'acqua limitrofi quali Seveso, Lura, Groane, ha una capacità di portata che diminuisce progressivamente da monte verso valle; tale diminuzione è dovuta sostanzialmente allo sviluppo urbanistico degli ultimi decenni, con imposizione di vincoli dovuti alla ridotta dimensione d'alveo, che ha confinato il fiume in sezioni ridotte (a cielo aperto) quando non addirittura tombinate.

Inoltre, le capacità naturali di deflusso sono ulteriormente ridotte dalla presenza di ponti e manufatti di attraversamento, nonché da un sistema difensivo "*passivo*" (argini) spesso discontinuo e quindi causa di potenziali allagamenti puntuali ed aggiramenti, con conseguente prolungato ristagno d'acqua, prima del rientro nell'alveo naturale mediante la rete di drenaggio urbano.

Il tratto di alveo oggetto di studio ha una lunghezza di circa 7.0 km e si estende dal ponte dell'autostrada A4 Milano-Venezia fino all'attraversamento del Naviglio Martesana.

Nel tratto di interesse l'alveo presenta un sistema difensivo discontinuo caratterizzato principalmente da argini in terra e muri di sponda di altezze variabili. La discontinuità delle difese unitamente alla presenza di manufatti di ridotta officiosità sono stati causa, durante gli ultimi eventi alluvionali, di esondazioni nell'abitato di Cologno Monzese e San Maurizio al Lambro, con altezze d'acqua sul piano campagna fino a massimi di 60+80 cm.

Tra i tratti a maggior rischio di esondazione si segnala quello prossimo a via Barcellona dove le difese in sponda sinistra risultano parzialmente crollare e insufficienti, originando allagamenti che hanno portato a tiranti idrici lungo la via stessa di circa 80-90 cm.



Figura 1: Difesa di sponda esistente lungo uno dei complessi industriali di via Barcellona

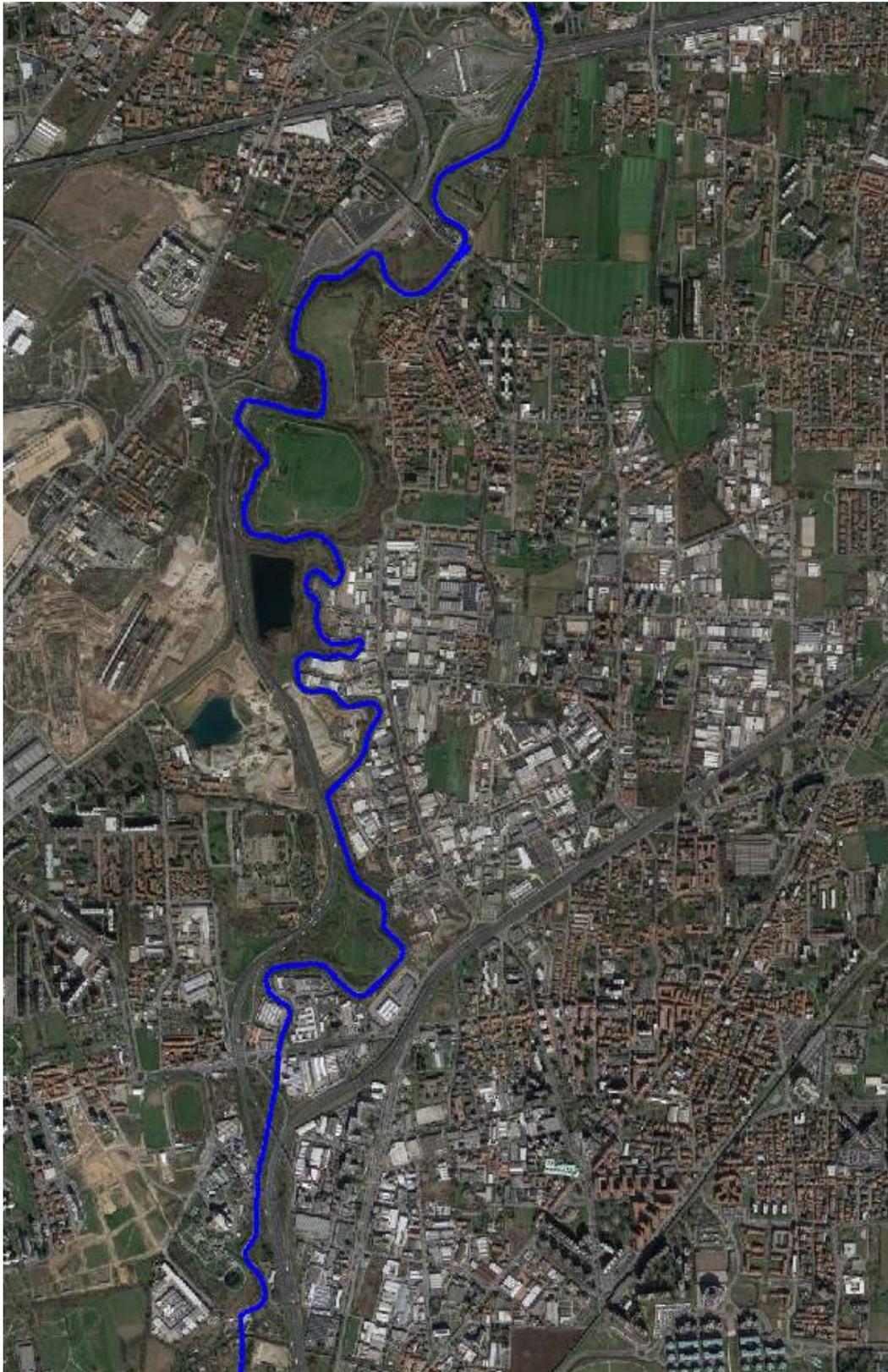


Figura 2: Inquadramento generale del fiume Lambro nel tratto oggetto di studio

3. INFORMAZIONI TOPOGRAFICHE UTILIZZATE PER LO STUDIO IDRAULICO

Per studiare correttamente il comportamento del fiume Lambro e delle esondazioni nelle aree golenali si è ritenuto opportuno aggiornare l'informazione topografica disponibile e contenuta nello "*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona*" (A-dBPo 2004), con un nuovo rilievo del corso d'acqua nel tratto compreso tra l'attraversamento il ponte dell'autostrada A4 (Milano-Venezia) e la traversa in corrispondenza dell'attraversamento del Naviglio Martesana. Il nuovo rilievo topografico è stato eseguito nel mese di luglio 2018 ed integrato successivamente nel mese di settembre.

Il tratto di corso d'acqua oggetto di rilievo si sviluppa per una lunghezza di circa 7.0 km lungo il quale sono state rilevate 36 sezioni trasversali. Oltre alle sezioni d'alveo sono state rilevate le opere di difesa presenti nonché le quote del piano campagna in alcuni tratti significativi nei quali si è reso necessario dettagliare l'informazione topografica. Tra questi occorre evidenziare l'arginatura in sponda destra posta in fregio allo svincolo autostradale dell'A4 e l'arginatura in sponda sinistra nel tratto terminale dove il Lambro risulta affiancato alla tangenziale Est di Milano.

Sono infine stati rilevati i seguenti manufatti:

- Ponte autostradale A4 (sez. 36)
- Ponte San Maurizio al Lambro (sez. 30)
- Ponte tangenziale Nord Milano (sez. 25 e sez. 24)
- Ponte ingresso cava parco San Maurizio (sez. 23)
- Ponte ingresso cava parco San Maurizio (sez. 22)
- Ponte via di Vittorio (sez. 8)
- ponte svincolo tangenziale Est Milano (sez. 7)
- traversa a monte del Naviglio Martesana (sez. 2)
- traversa Naviglio Martesana (sez. 1)



Figura 3: Ponte autostrada A4 Milano-Venezia



Figura 4: Fiume Lambro in corrispondenza dell'attraversamento del Naviglio Martesana

L'informazione topografica è stata quindi sottoposta ad una verifica di congruenza con il rilievo LIDAR a maglia 1x1 del Ministero dell'Ambiente fornito da Regione Lombardia, in particolare per quanto riguarda il terreno in corrispondenza delle aree golenali. Il confronto ha messo in evidenza una buona corrispondenza tra i due rilievi, come evidenziato nella figura seguente. Occorre precisare che le discrepanze del fondo alveo sono dovute al fatto che il LIDAR non riesce a rilevare il fondo del corso d'acqua, ma solamente la superficie liquida.

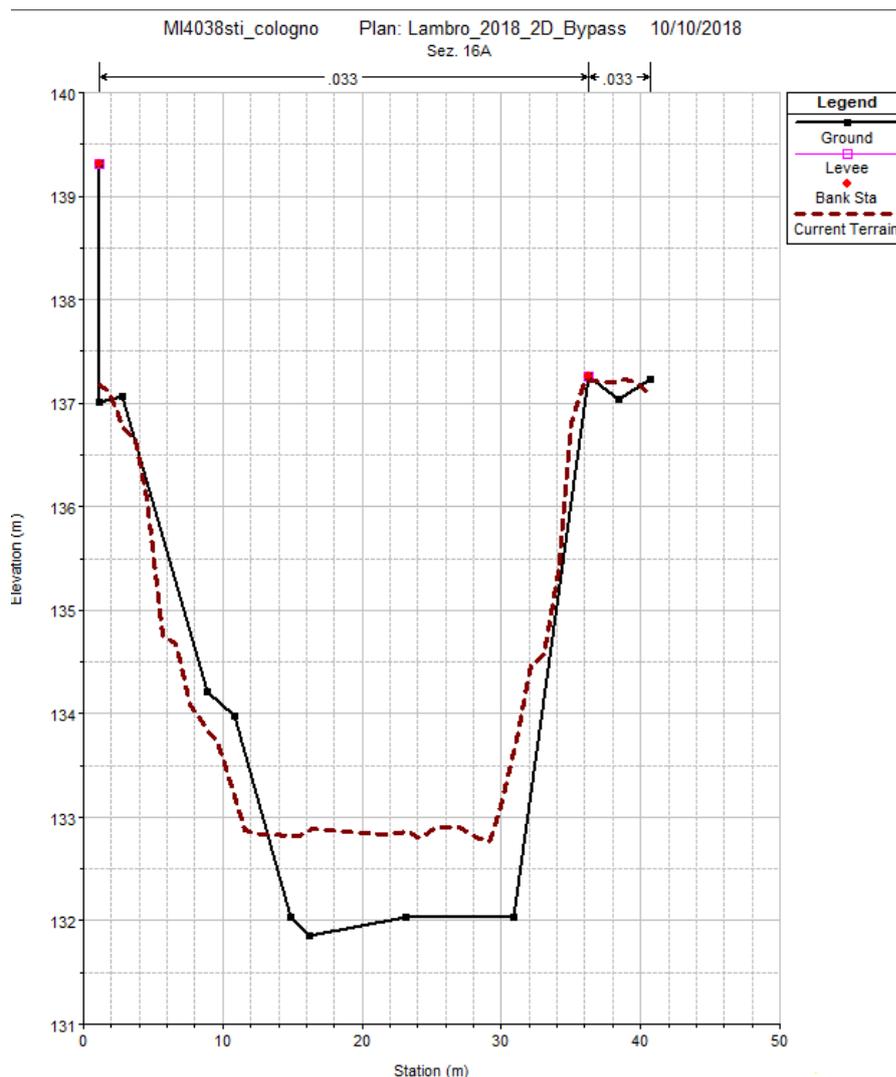


Figura 5 – Confronto tra rilievo LIDAR (tratteggio marrone) e rilievo 2018 del fiume Lambro

Come già anticipato nella premessa nella modellazione idraulica del corso d'acqua è stato inserito il by-pass di via San Maurizio al Lambro in quanto già in fase di realizzazione e di prossima ultimazione. Le informazioni topografiche relative all'opera sono state dedotte dal Progetto Esecutivo "Lavori di realizzazione di arginatura sul fiume Lambro Settentrionale necessari per la messa in sicurezza dell'abitato di San Maurizio al Lambro in comune di Cologno Monzese" (AIPO, 2012), ed in particolare dagli elaborati relativi alla Perizia di Variante e Suppletiva n.2 "Realizzazione di by-pass in corrispondenza del ponte di via San Maurizio al Lambro" (maggio, 2016). Nella figura seguente si riporta lo stralcio planimetrico del manufatto di by-pass considerato nella modellazione.

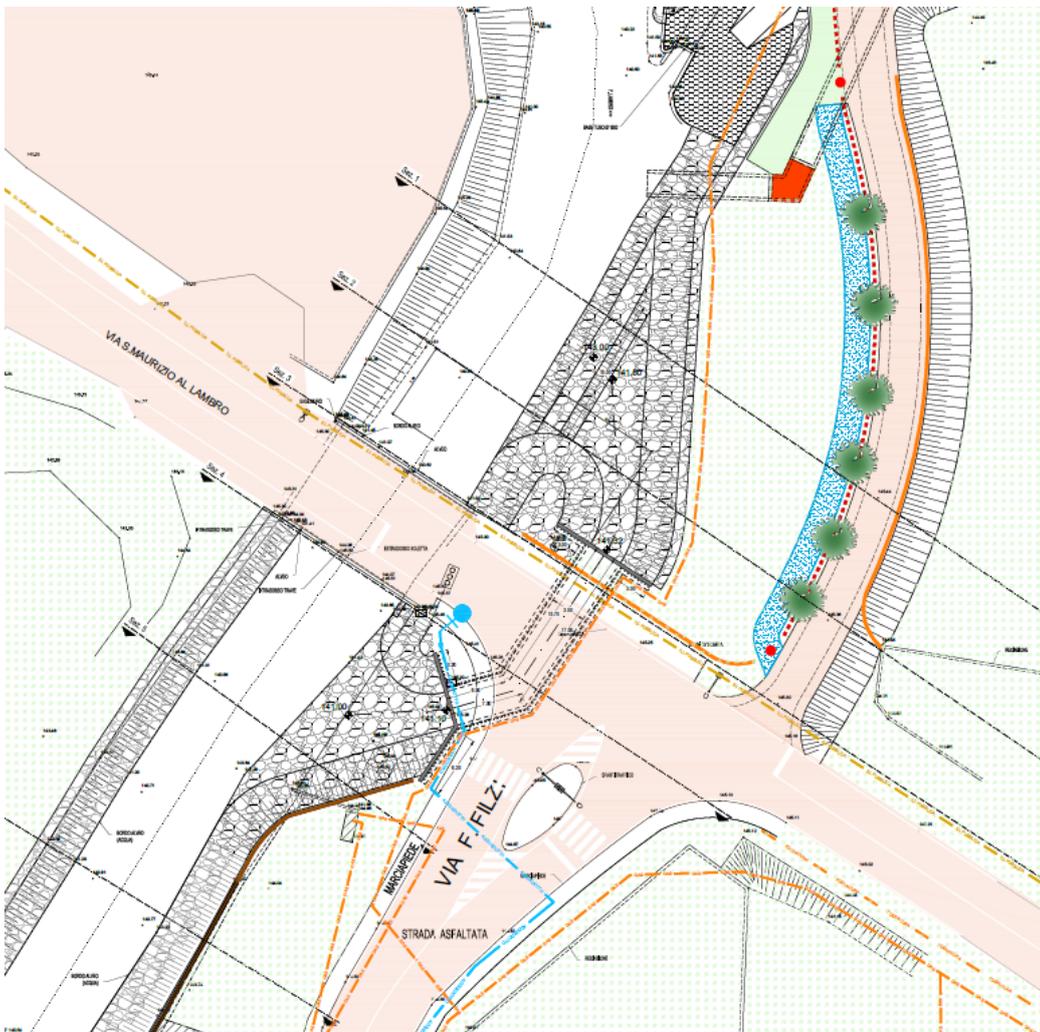


Figura 6 – Stralcio planimetrico di progetto by-pass via San Maurizio (fonte AIPO 2016)



**STUDIO
IDROGEOTECNICO**

1964 - 2014

STUDIO IDROGEOTECNICO Srl
Società di ingegneria

Bastioni di Porta Volta, 7 - 20121 Milano
tel. 02/659.78.57 - fax 02/655.10.40
e-mail: stid@fastwebnet.it
PEC: stidsrl@pec.it
www.studioidrogeotecnico.com

4. COSTRUZIONE DEL MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

Come già accennato nel capitolo precedente oltre all'informazione topografica rilevata, per la descrizione delle aree di esondazione in sinistra e in destra lungo il fiume Lambro si è fatto riferimento al rilievo LIDAR a maglia 1 x 1 eseguito dal Ministero dell'Ambiente nell'ambito del Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale (2010). Nel rilievo LIDAR è stata rilevata tutta la linea di costa italiana e tutte le aste fluviali di I, II, e III ordine riportate nel catalogo fiumi dell'IGM. Partendo dall'informazione topografica in esso contenuta è stato poi ricavato il modello digitale del terreno per la regione fluviale del Lambro nella zona di interesse.

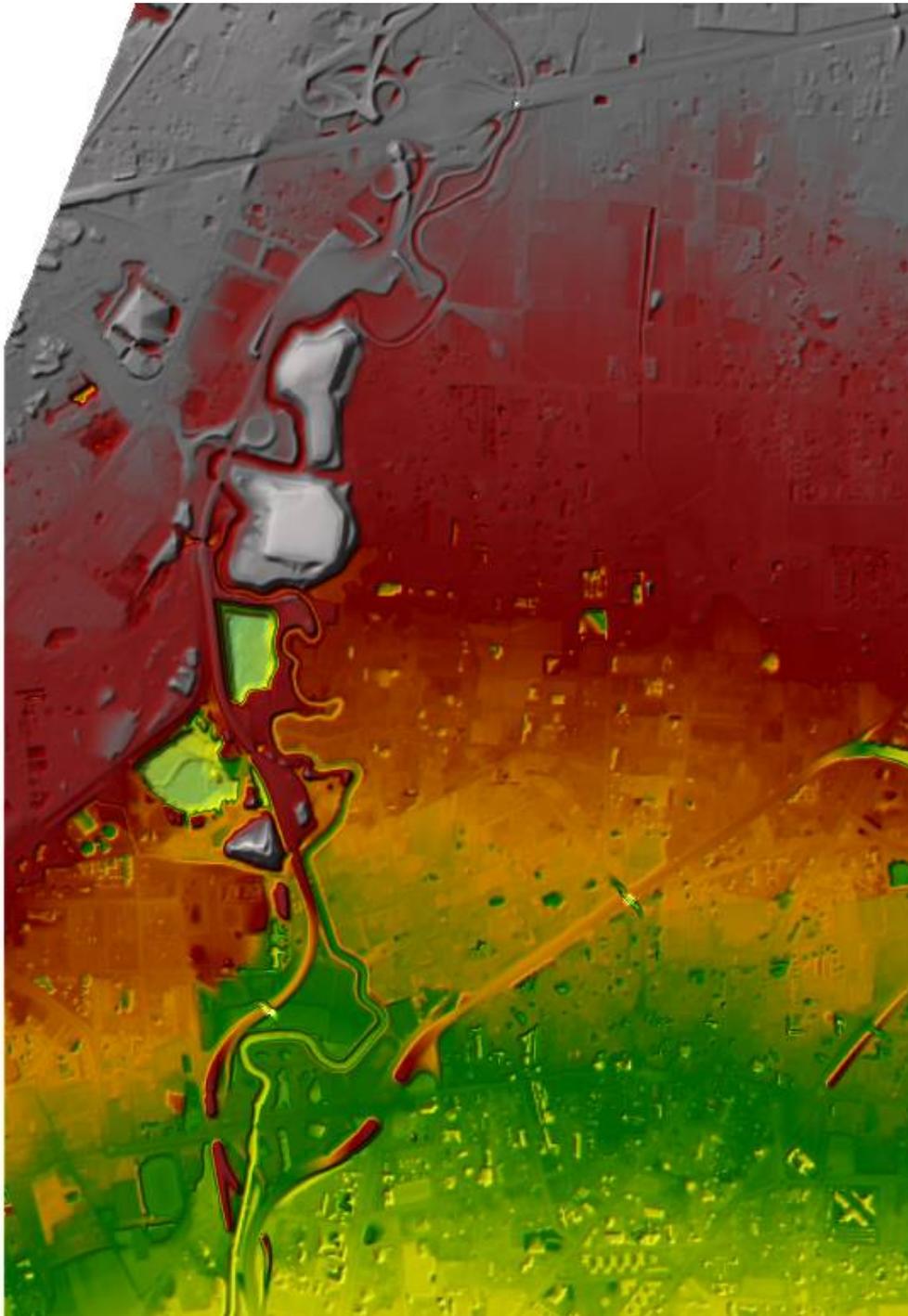


Figura 7 – Modello digitale del terreno ricavato dal rilievo LIDAR 1x1

Al fine di rappresentare correttamente il deflusso degli allagamenti nelle aree urbane di interesse si è reso necessario modificare localmente il DTM ottenuto da LIDAR. In particolare si è reso necessario riprodurre all'interno di esso i sottopassi posti in

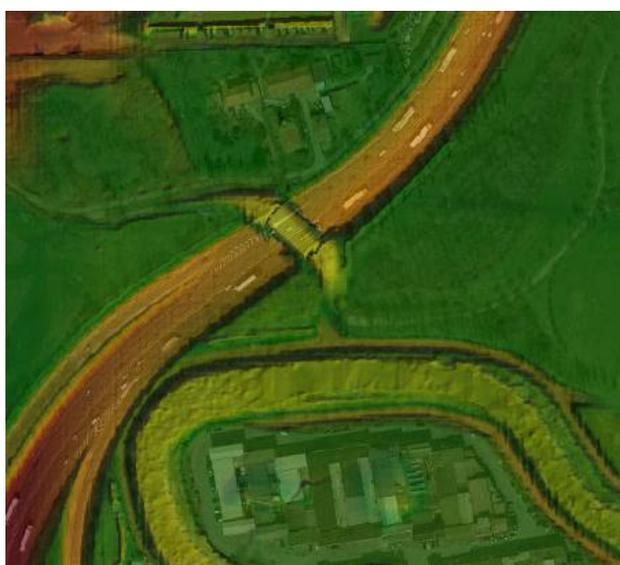
corrispondenza dell'A4, il sottopasso della tangenziale Est lungo la via Galilei (area golenale sinistra) ed infine il sottopasso campestre della tangenziale Nord in sponda destra.



Sottopassi A4



Sottopasso via Galilei tangenziale Est



Sottopasso campestre tangenziale Nord

Il nuovo DTM così ottenuto è stato posto alla base delle simulazioni idrauliche condotte.

5. STUDIO IDRAULICO BIDIMENSIONALE

Per ricostruire il comportamento idrodinamico del fiume Lambro e definire i tiranti idrici che si instaurano lungo il corso d'acqua e nelle aree golenali ad esso collegate è stato implementato un modello idraulico monodimensionale accoppiato ad un modello bidimensionale delle aree golenali. Il tempo di ritorno di riferimento è $T=200$ anni.

Nei paragrafi successivi dopo una breve descrizione del codice di calcolo utilizzato, vengono descritte le verifiche idrauliche condotte per la definizione delle aree allagabili e delle quote minime di difesa.

Il modello bidimensionale è stato implementato mediante l'uso del software HEC-RAS 5.0.3 sviluppato dall'*U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center*.

5.1 Il codice di calcolo HEC-RAS 5.0.5

Il modello monodimensionale accoppiato al bidimensionale è stato implementato mediante l'uso del software HEC-RAS 5.0.5 sviluppato dall'*U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center*.

Per la parte monodimensionale HEC-RAS risolve le equazioni di De Saint Venant distinguendo tra alveo e zone golenali:

Equazione di continuità

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

dove

- x : distanza lungo il canale;
- t tempo;
- Q portata;
- A area della sezione;
- S area della sezione non considerata contribuente al deflusso (ineffective flow area);
- q_l flusso laterale per unità di lunghezza.

L'equazione può essere scritta per l'alveo inciso, per la golena destra e per la golena sinistra, di seguito, per semplicità, si riportano le equazioni per l'alveo inciso e per le golene complessivamente:

$$\frac{\partial A_a}{\partial t} + \frac{\partial Q_a}{\partial x_a} - q_g = 0$$

$$\frac{\partial A_g}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q_g}{\partial x_g} = q_a + q_l$$

dove la sotto scrittura *a* e *g* indica alveo inciso e golene rispettivamente, q_c e q_g indicano gli scambi di portata tra l'alveo inciso e le zone golenali. Si noti come siano considerate distanze diverse lungo l'alveo inciso e le zone golenali.

Equazione dell'energia

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (VQ)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S \right) = 0$$

dove:

- *g* accelerazione di gravità;
- *S* perdite di energia dovute alla scabrezza;
- *V* velocità.

Anche in questo caso possiamo scrivere l'equazione per l'alveo inciso e per le golene:

$$\frac{\partial Q_a}{\partial t} + \frac{\partial (V_a Q_a)}{\partial x_a} + gA_a \left(\frac{\partial z}{\partial x_a} + S_a \right) = M_g$$

$$\frac{\partial Q_g}{\partial t} + \frac{\partial (V_g Q_g)}{\partial x_g} + gA_g \left(\frac{\partial z}{\partial x_g} + S_g \right) = M_a$$

dove *M* rappresenta lo scambio di quantità di moto tra alveo inciso e golene, si noti

$$\text{che } \Delta x_a M_a = -\Delta x_g M_g$$

Nelle equazioni *z* (livello d'acqua) non è sottoscritto, infatti un modello monodimensionale ha come assunzione implicita che il livello è costante all'interno dell'intera sezione. La velocità è invece diversa tra alveo inciso e zone golenali, per cui si avrebbe un valore dell'energia diverso, non possibile in un modello monodimensionale. Il valore dell'energia viene calcolato introducendo il valore α . Considerando una

velocità media nella sezione e differenziando tra alveo, golena destra e golena sinistra, facendo una media pesata sulle portate, possiamo scrivere:

$$\alpha \frac{\bar{V}}{2g} = \frac{Q_{gsx} \frac{V_{gsx}^2}{2g} + Q_a \frac{V_a^2}{2g} + Q_{gdx} \frac{V_{gdx}^2}{2g}}{Q_{gsx} + Q_a + Q_{gdx}}$$

assumendo che la pendenza della linea dell'energia è unica risulta anche:

$$Q_{gsx} = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_{gsx} \quad Q_a = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_a \quad Q_{gdx} = \frac{Q_{Tot}}{K_{Tot}} K_{gdx}$$

dove K rappresenta la conveyance o conduttività idraulica. Inserendo quest'ultime nell'equazione precedente si ottiene:

$$\alpha = \frac{A_{Tot}^2 \left[\frac{K_{gsx}^3}{A_{gsx}^2} + \frac{K_a^3}{A_a^2} + \frac{K_{gdx}^3}{A_{gdx}^2} \right]}{K_{Tot}^3}$$

HEC-RAS utilizza l'equazione di Manning per la definizione delle perdite di carico per attrito:

$$Q = \frac{AR_H^{2/3} \sqrt{S}}{n}$$

dove n è il coefficiente di scabrezza secondo tale formulazione.

HEC-RAS nella scrittura, e quindi implementazione, dell'equazione dell'energia distingue sempre tra alveo inciso e zone golenali calcolando separatamente la conveyance di queste zone. Nel caso in cui all'interno di tali zone vi siano variazioni di scabrezza suddivide ulteriormente la sezione calcolando la conveyance per ogni tratto a partire da area e contorno bagnato.

Oltre alle perdite di carico per attrito HEC-RAS considera anche le perdite di carico per allargamento o restringimento della sezione:

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

dove c è il coefficiente di contrazione.

In HEC-RAS possono essere schematizzate diversi tipi di strutture, sia trasversali al corso d'acqua che parallele allo stesso.

Per le strutture trasversali la valutazione delle perdite di carico dovute alla presenza della struttura è fatta mediante la schematizzazione con 4 sezioni del tratto in cui avviene la contrazione e l'espansione della vena liquida.

Il calcolo del deflusso attraverso gli stramazzi avviene con le formule degli stramazzi. Si possono considerare sia stramazzi in parete sottile che in parete grossa, liberi o controllati da paratoie verticali o radiali.

Oltre alle strutture trasversali alla corrente è possibile considerare delle strutture parallele alla corrente che simulano lo sfioro dell'acqua al di sopra di un argine o di una apposita struttura di sfioro laterale. In HEC-RAS il calcolo della portata sfiorante avviene considerando unicamente il livello di una sezione, ma considerando la variazione di livello sia dello stramazzo che del livello d'acqua, permettendo una più precisa valutazione.

Per la parte bidimensionale il codice risolve le equazioni di De Saint Venant bidimensionali. Per la soluzione il codice utilizza la tecnica dei volumi finiti su griglia non strutturata. La tecnica dei volumi finiti consente di rappresentare in modo corretto sia correnti in moto subcritico che supercritico, come pure di descrivere fronti d'onda ripidi come quelli che si verificano in caso di rottura d'argini o dighe. La tecnica dei volumi finiti consente inoltre il controllo preciso dell'equazione di continuità nei problemi di flood and dry, continuità non sempre strettamente garantita nei metodi agli elementi finiti e differenze finite. HEC-RAS è perciò particolarmente adatto a descrivere propagazioni di onde su asciutto come quelle che si verificano durante gli allagamenti delle zone golenali. Le griglie non strutturate consentono di descrivere in dettaglio il dominio di calcolo, permettendo di variare le dimensioni degli elementi infittendo la griglia di calcolo dove le variazioni geometriche sono più accentuate e/o dove si vuole un livello di dettaglio più accurato. Inoltre l'utilizzo della tecnica dei volumi finiti consente di accelerare i tempi di calcolo. Il codice di calcolo definisce per ogni faccia di una cella di calcolo della mesh le grandezze idrodinamiche caratteristiche in una fase di pre-elaborazione, accelerando quindi il calcolo in fase di simulazione.

Attraverso l'accoppiamento 1D-2D è possibile simulare sistemi complessi quale quello in oggetto, garantendo la massima affidabilità dei livelli in alveo anche in presenza di strutture interferenti che creano funzionamenti rigurgitati dell'alveo, e al tempo

stesso fornire un'accurata definizione delle dinamiche bidimensionali nelle aree golenali e dell'interconnessione tra alveo e golena.

Per non appesantire la trattazione e per dettagli sul funzionamento computazionale del codice di calcolo utilizzato, si rimanda all'ampia documentazione disponibile al seguente indirizzo <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>.

5.2 Implementazione del modello idraulico bidimensionale

5.2.1 Descrizione topografica dell'alveo

Per la ricostruzione geometrica dell'alveo del fiume Lambro si è fatto riferimento alle sezioni trasversali rilevate con il rilievo topografico eseguito ad hoc nel mese di luglio 2018 (vedi capitolo 3). Il tratto di corso d'acqua modellato si estende per circa 7.5 km da monte del ponte A4 a circa 300 metri a valle dell'attraversamento della Martesana. Nel modello sono state inserite in totale tutte le 36 sezioni trasversali rilevate, oltre a 8 manufatti di attraversamento e 3 salti di fondo. Per rappresentare meglio la topografia dell'alveo monodimensionale in corrispondenza dei manufatti di attraversamento, nei tratti in curva e nei tratti in cui sono presenti opere di difesa spondale (muri) si è reso necessario duplicare alcune sezioni, ed eseguire interpolazioni tra due sezioni adiacenti. In totale per descrivere l'alveo del Lambro sono state inserite 115 sezioni.

Come già detto nella presenza l'alveo attuale del corso d'acqua è stato simulando ipotizzando sia la presenza del manufatto di by-pass (in fase di ultimazione) che le opere di difesa spondale in corrispondenza di via Barcellona. Tale assetto è stato condiviso con i tecnici ed i responsabili del comune di Cologno Monzese in quanto gli interventi risultano già pianificati e di prossima realizzazione. È stata quindi inserita la geometria del manufatto di by-pass, ed in corrispondenza di via Barcellona sono stati inseriti dei "levee" (argini) al fine di rappresentare le difese di sponda tali da contenere con franco adeguato i livelli di piena.

5.2.2 Descrizione geometrica delle aree golenali delle aree bidimensionali

Per la simulazione delle esondazioni nelle aree golenali e quindi definire le aree di allagamento nella zona oggetto di studio è stato fondamentale riprodurre in modo sufficientemente preciso l'andamento del terreno nelle aree di esondazione. Allo scopo, come già descritto nel capitolo precedente, sulla base del rilievo LIDAR e sul-

le informazioni topografiche integrative, è stato ricreato un modello digitale del terreno.

Le dimensioni dell'area oggetto di simulazione e il grado di dettaglio della maglia di calcolo sono state definite tenendo conto delle seguenti esigenze:

1. avere un'adeguata estensione e grado di dettaglio tale da consentire una corretta ricostruzione della fenomenologia di allagamento nelle aree di interesse e minimizzare l'influenza delle condizioni al contorno sui risultati.
2. implementare un modello compatibile da un punto di vista computazionale con i processori di ultima generazione.

In relazione al grado di dettaglio necessario nella zona da simulare nonché alle variazioni morfologiche presenti nelle diverse aree, per la zona oggetto di studio si è utilizzata una maglia di dimensioni 10 x 10 metri. La superficie complessiva dell'area 2D modellata è pari circa 12 km², per un totale di circa 114'000 celle.

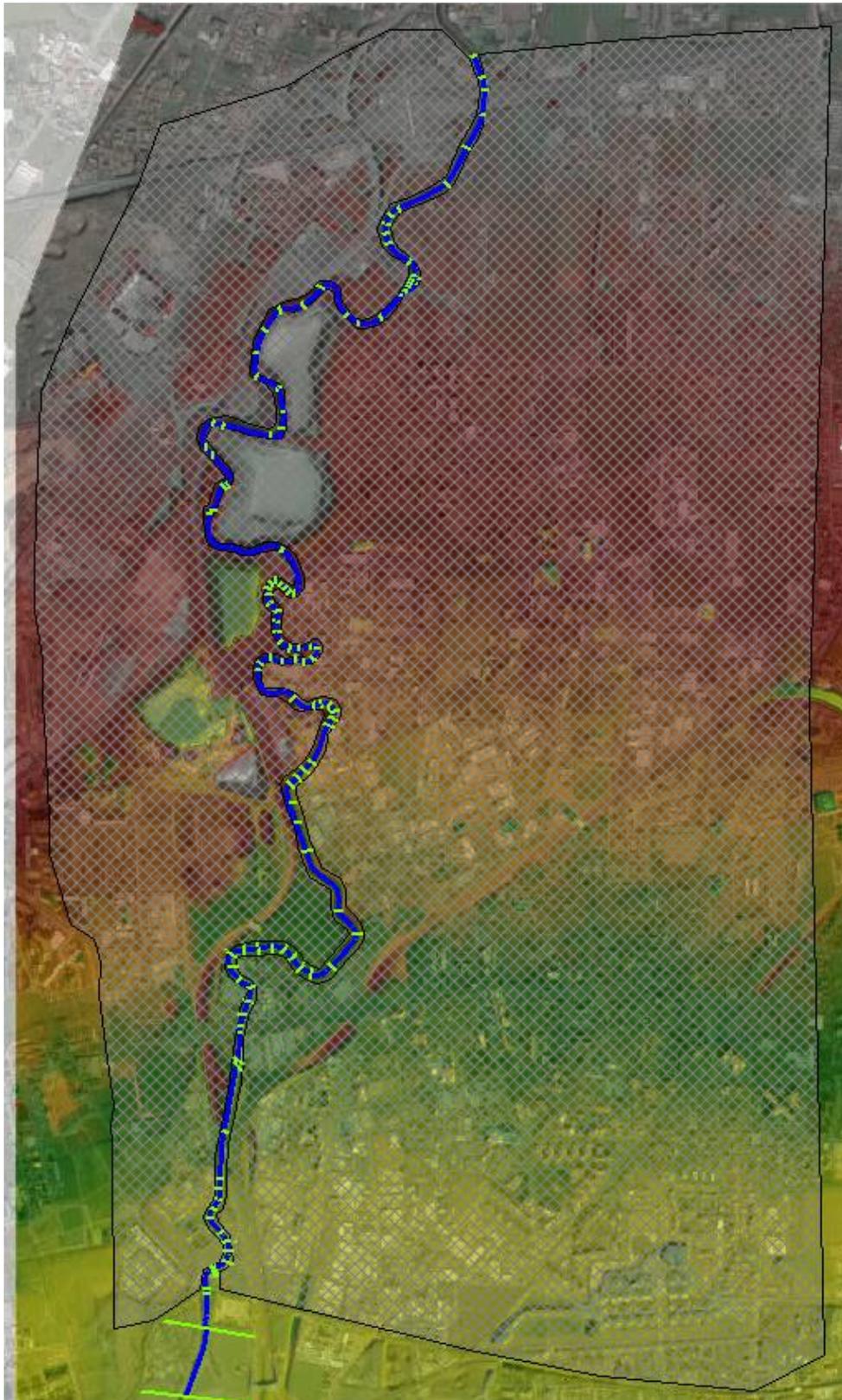


Figura 8 – Estensione del modello bidimensionale del fiume Lambro

5.2.3 Condizioni al contorno e coefficienti di scabrezza

Per la definizione delle condizioni al contorno da inserire nel modello si è fatto riferimento all'attività di analisi idraulica del già citato studio Lambro-Olona (AdBPo, 2004).

Nella sezione di monte del modello, posta immediatamente a monte dell'attraversamento A4 Milano-Venezia, come condizione al contorno è stato inserito l'idrogramma di piena T200 anni dedotto dai risultati dell'analisi idraulica del fiume Lambro condotta nello Studio Lambro-Olona. L'idrogramma di piena considerato è quello in corrispondente alla sezione LA 91.2 ($Q_{200} = 294.7 \text{ m}^3/\text{s}$).

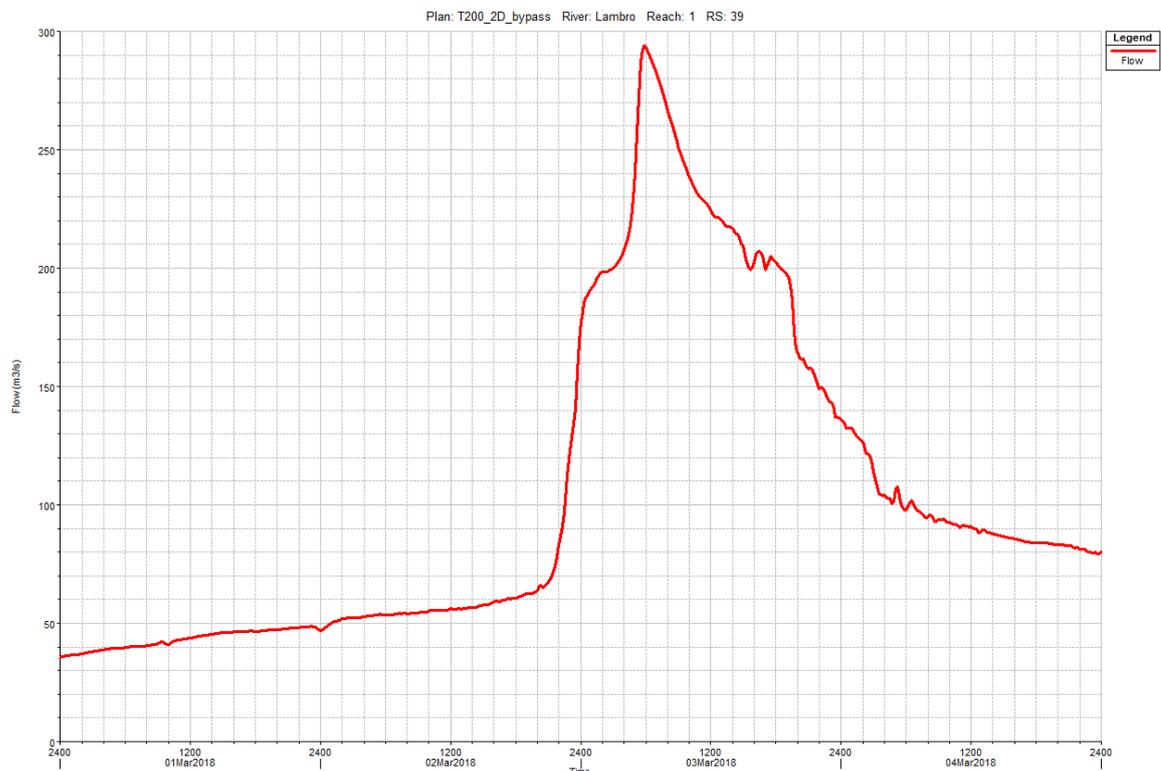


Figura 9 – Idrogramma di piena T200 anni inserito nella sezione di monte del modello

Lungo il corso d'acqua sono poi stati considerati gli scarichi degli scolmatori di pieni afferenti alle reti fognarie di Cologno e Sesto San Giovanni (bacini urbani LAM18 e LAM 17). La presenza effettiva di ali scarichi è stata verificata sulla base del tracciato delle reti fognarie fornita direttamente dal gestore CAP Holding. Per semplificazione dello schema modellistico il punto di scarico relativo a ciascuna rete urbana

(Cologno Monzese e Sesto San Giovanni) è stato considerato unico, e posto nel punto di scarico situato più a monte in modo tale da simulare cautelativamente una situazione più gravosa.

Nello specifico lo scarico di Cologno Monzese è stato immesso, in sponda sinistra, nei pressi di via Barcellona, mentre lo scarico di Sesto San Giovanni in sponda destra immediatamente a monte del ponte di via Di Vittorio.

Le portate di picco relative ai due scarichi sono rispettivamente pari a $6 \text{ m}^3/\text{s}$ per Cologno e $69 \text{ m}^3/\text{s}$ per Sesto.

Come condizione al contorno di valle invece è stata considerata una condizione di moto uniforme posta a circa 300 metri dal salto di fondo al di sotto del Naviglio Martesana.

Al fine di verificare la corretta localizzazione della condizione di valle è stata fatta un'analisi di sensitività del modello imponendo come condizione al contorno di valle sia l'altezza di moto uniforme, sia la scala di deflusso (scala di deflusso dedotta dal modello matematico implementato nello studio Lambro-Olona). I risultati ottenuti mostrano che a monte del salto della Martesana i livelli idrici non subiscono variazioni.

Per la definizione dei coefficienti di scabrezza si è fatto riferimento alle tabelle riportate nel

nel testo "Ven Te Chow, Ph. D - *Open Channel Hydraulics* - Mc Graw Hill International Edition - 1986".

La scelta è stata effettuata considerando le caratteristiche geometriche dei materiali che compongono attualmente l'alveo, e la copertura vegetale delle sponde e delle golene.

Nello specifico si è adottato un valore del K_S di Strikler di $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per l'alveo inciso del fiume Lambro, mentre per le aree golenali, per tenere conto dell'elevato grado di urbanizzazione, è stato adottato un K_S di $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Anche per la scabrezza è stata fatta un'analisi di sensitività facendo variare il valore del coefficiente di Strikler. In modo particolare è stata condotta una simulazione assumendo per le aree 2D un K_S $5 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (estremamente cautelativo); i livelli idrici ottenuti sono risultati praticamente coincidenti con quelli calcolati assumendo un valore di $10 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

5.3 Simulazione idraulica bidimensionale e risultati ottenuti

Terminata la fase di implementazione del modello e assegnate le condizioni al contorno descritte nel paragrafo precedente è stata condotta la simulazione bidimensionale per l'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni. Mediante la simulazione 2D è stato possibile definire le condizioni di deflusso del Lambro e delle esondazioni che si verificano nelle aree golenali.

Nelle figure seguenti sono riportati i risultati ottenuti in termini di quote idriche, tiranti idrici e velocità della corrente.

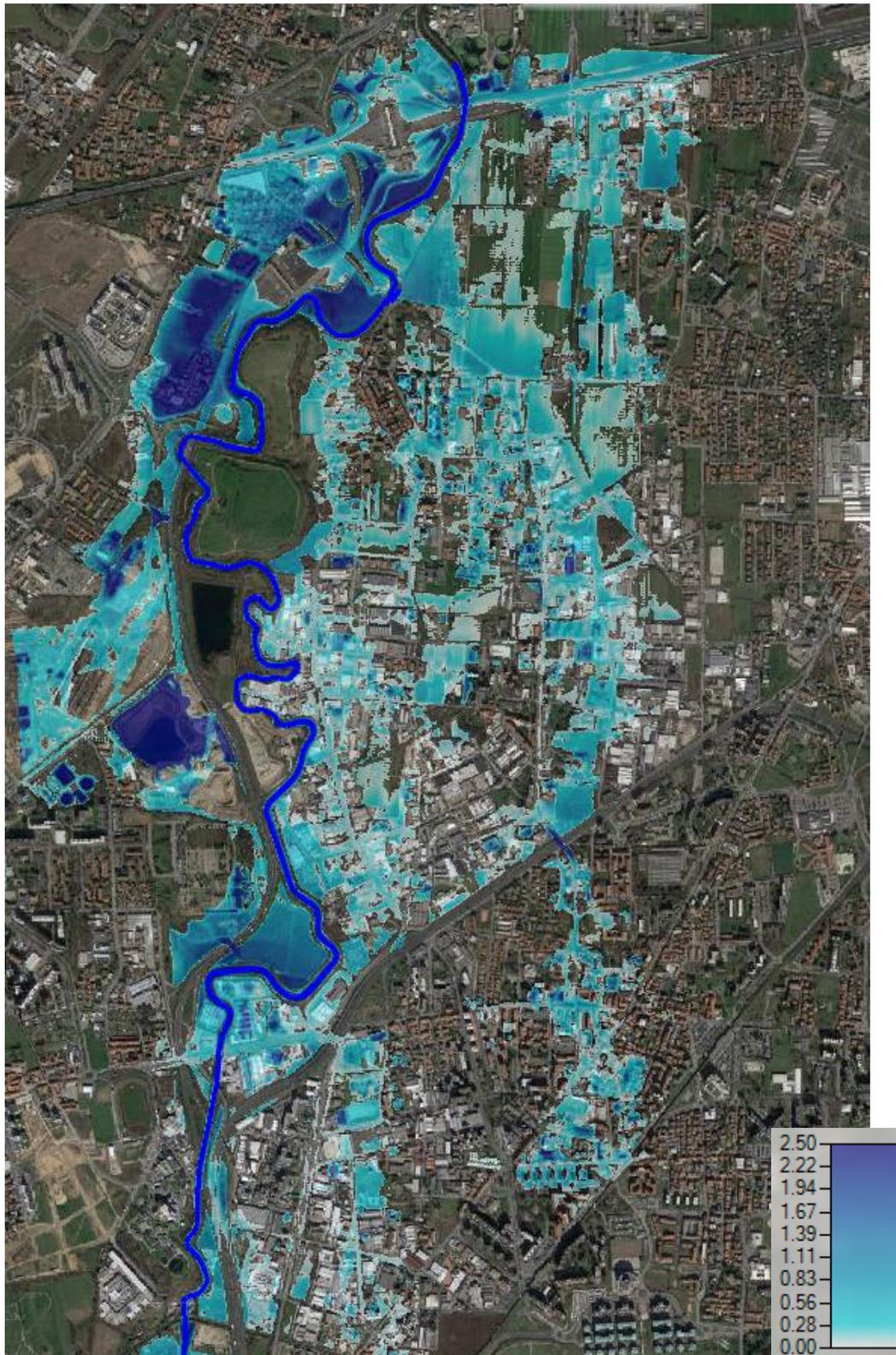


Figura 10 – Planimetria dei tiranti idrici per l'evento T200 sull'intero dominio di calcolo

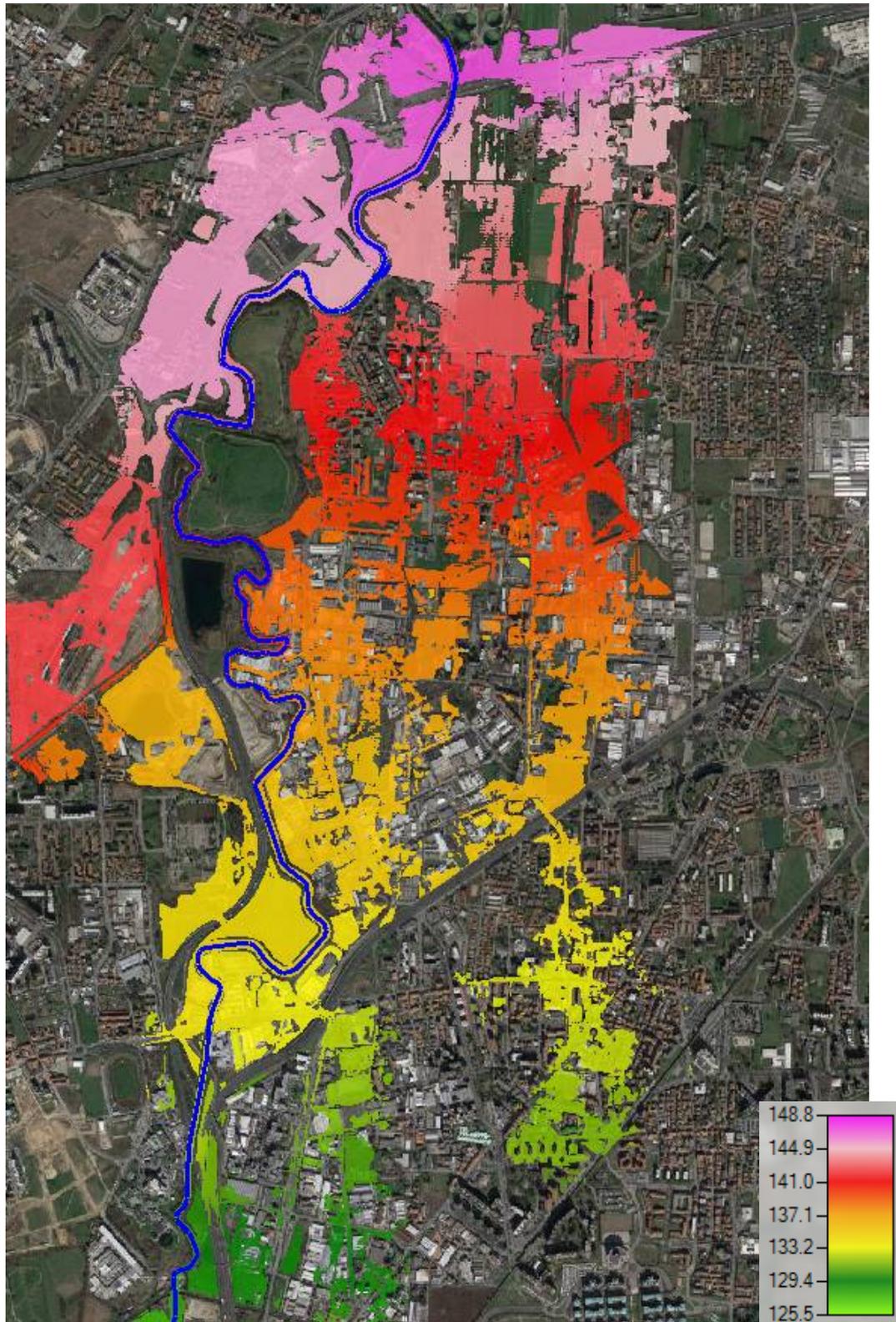


Figura 11 – Planimetria dei livelli idrici per l'evento T200 sull'intero dominio di calcolo

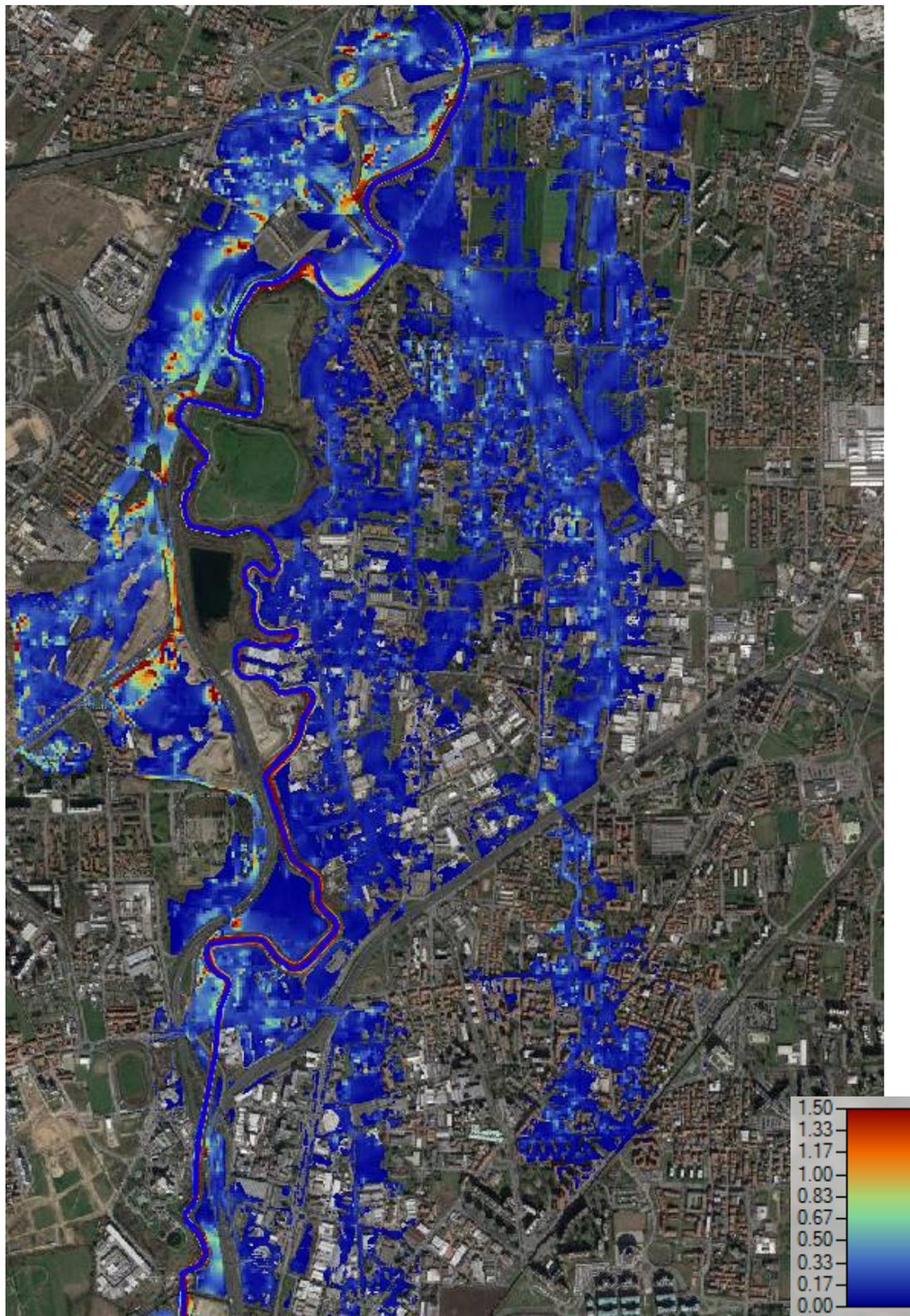


Figura 12 – Involuppo delle velocità per l'evento T200 sull'intero dominio di calcolo

Relativamente al territorio comunale di Cologno Monzese i risultati della simulazione mettono in evidenza che i tiranti maggiori si registrano nelle aree golenali a monte del by-pass di via San Maurizio e nell'intorno del sottopasso di via Galilei, dove la presenza del rilevato stradale della tangenziale Nord Milano impedisce il deflusso delle acque verso valle. Lungo la via Barcellona le esondazioni risultano pressoché nulle con tiranti dell'ordine di 10-12 cm che interessano solamente una porzione limitata della via e che provengono dal deflusso delle acque lungo viale Spagna.

Preme di nuovo ricordare che la configurazione simulata è quella che considera il by-pass di via San Maurizio e le difese di via Barcellona già realizzate. Tale configurazione, concordata con il comune di Cologno Monzese, riduce sensibilmente l'estensione degli allagamenti che interessano il territorio comunale. Allo scopo è stata comunque eseguita una simulazione senza considerare né il by-pass né le difese di via Barcellona. I risultati, riportati nella figura seguente, mostrano aree allagate sensibilmente maggiori con tiranti idrici medi di 40-50 cm. In particolare le esondazioni che si originano lungo la via Barcellona danno luogo a tiranti idrici di circa 1 metro.

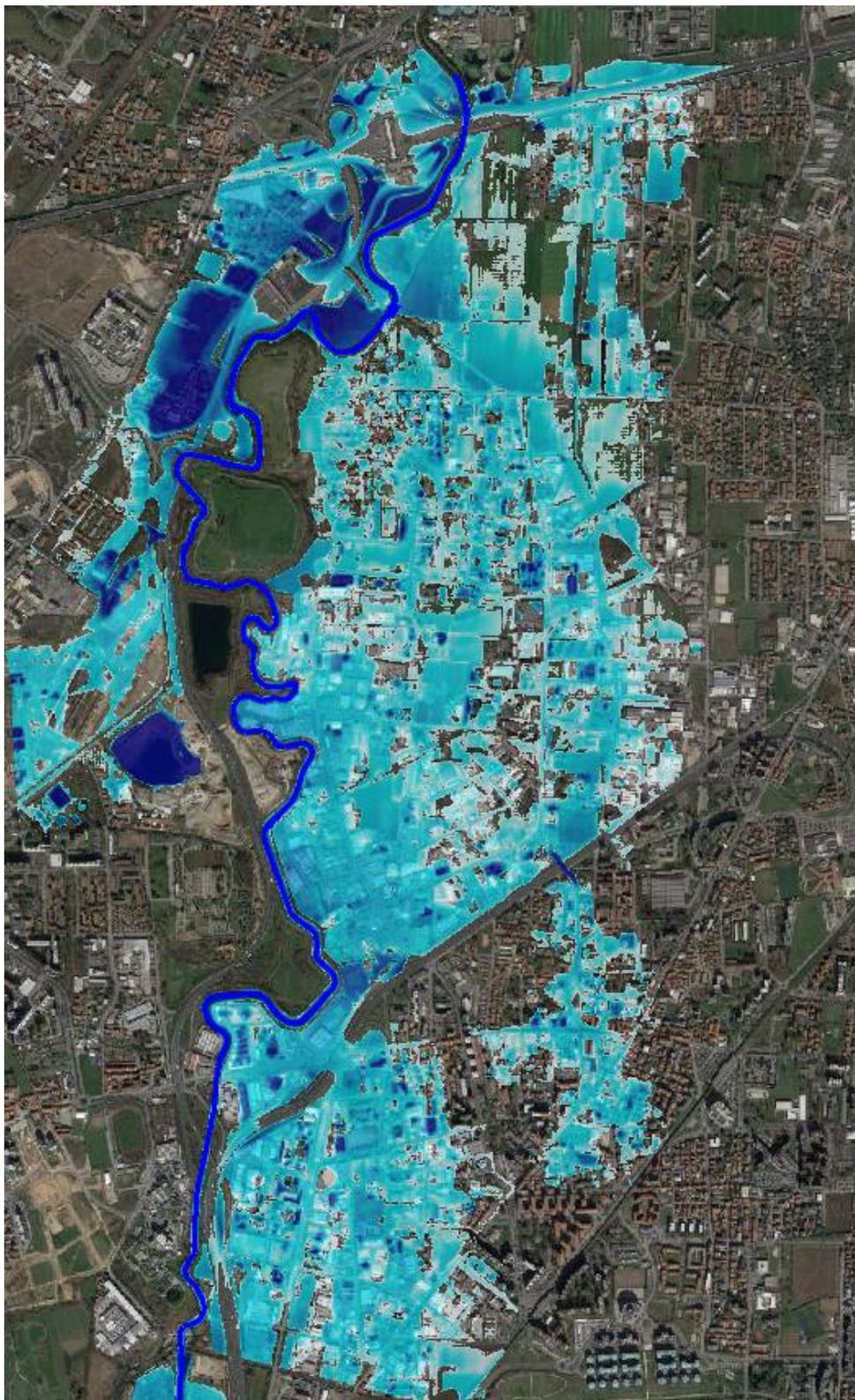


Figura 13 – Estensione degli allagamenti in territorio comunale di Cologno Monzese nella configurazione senza by-pass e difese di sponda lungo via Barcellona.

In merito alla dinamica evolutiva spazio-temporale degli allagamenti durante l'evento di piena si segnala quanto segue.

I primi allagamenti che si verificano in sponda sinistra si hanno nel tratto a valle del ponte di via San Maurizio tra le sezioni 28 e 27 quando la portata che transita è pari a circa $160 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 14 – Inizio allagamenti in comune di Cologno Monzese a valle di via San Maurizio al Lambro ($Q=160 \text{ m}^3/\text{s}$)

All'aumentare della portata in Lambro all'allagamenti in sinistra si verificano anche in corrispondenza del ponte della A4, e immediatamente a monte del ponte di via Di Vittorio con portate in alveo di circa $180 \text{ m}^3/\text{s}$ coincidente con l'officiosità idraulica del Lambro nel tratto di interesse.

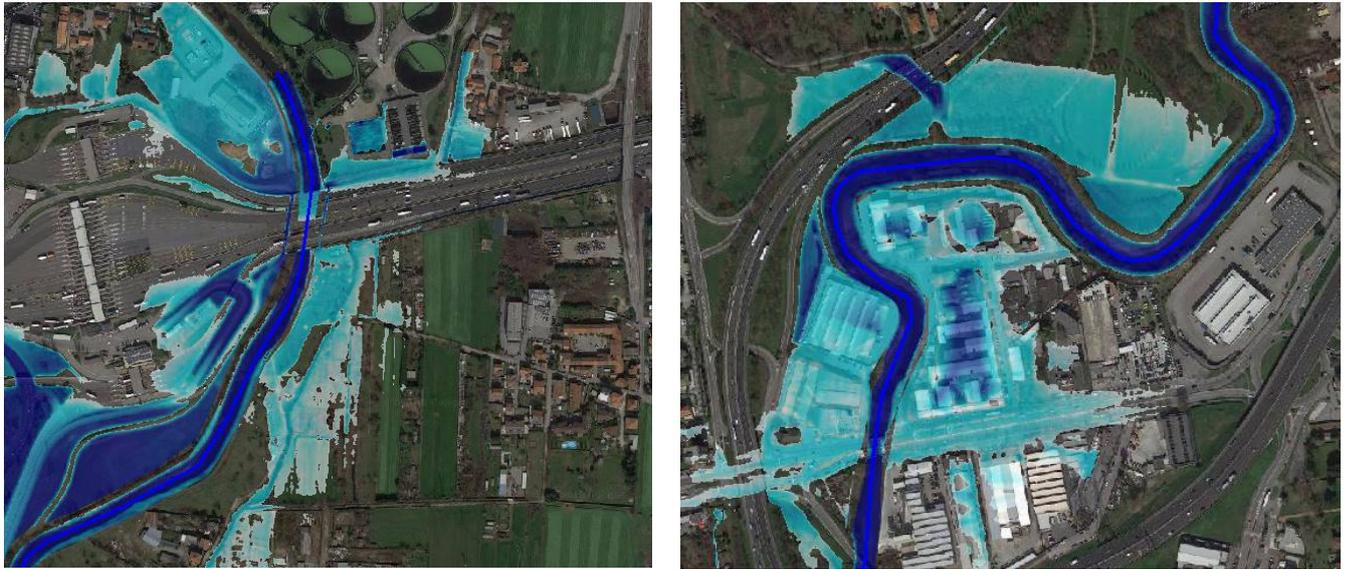


Figura 15 – Allagamenti in corrispondenza del ponte A4 e del ponte di via Di Vittorio ($Q=180$ m^3/s)

Con portate in ingresso al modello crescenti, gli allagamenti aumentano progressivamente fino a raggiungere l'estensione massima riportata nella Figura 10. La natura del piano campagna degradante in direzione nord-sud, fa sì che le acque esondate nei territori di monte raggiungono i territori di valle anche diverse ore dopo il passaggio del colmo di piena.

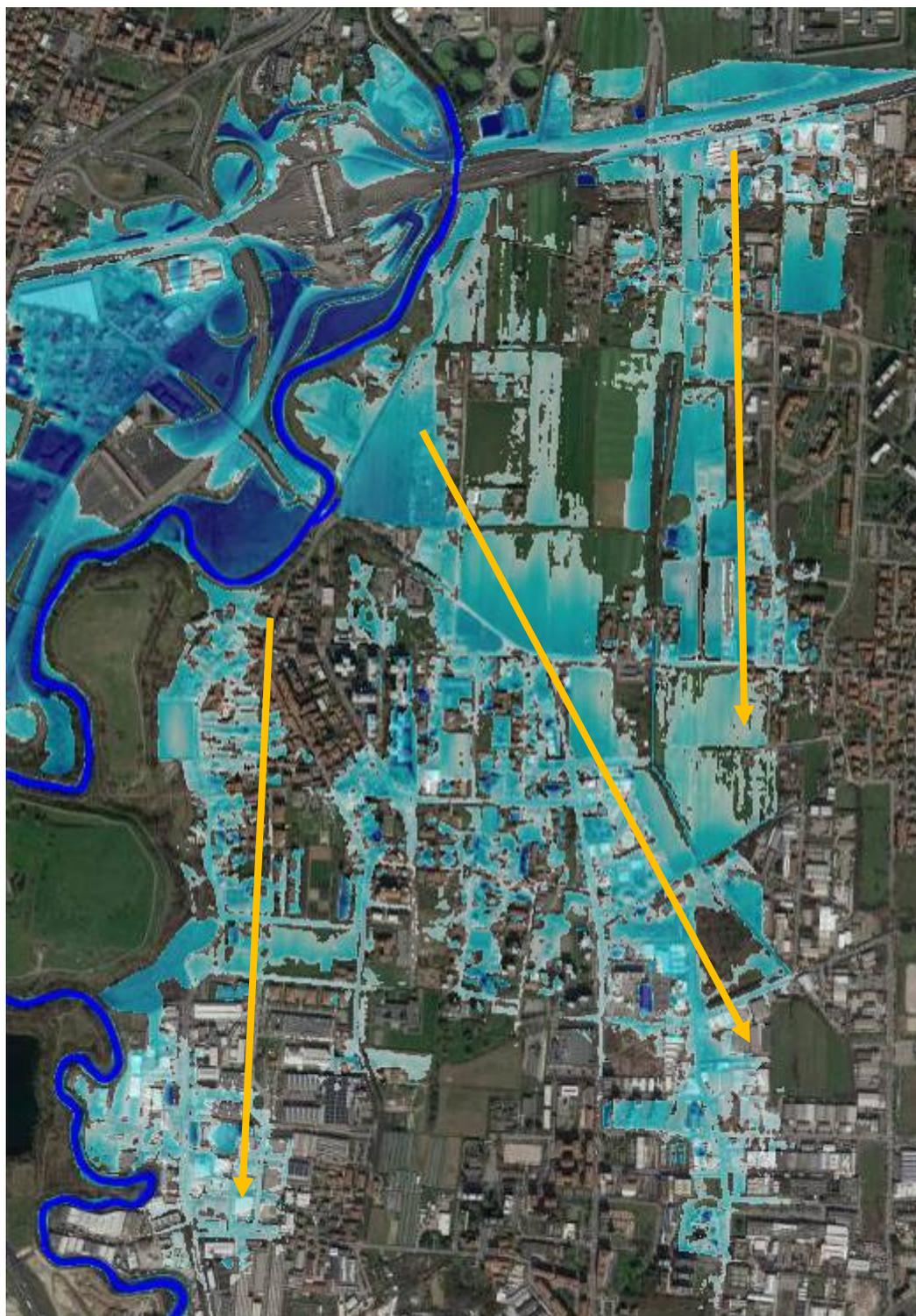


Figura 16 – Evoluzione spazio temporale degli allagamenti T200 anni (le frecce in giallo indicano le principali direzioni del deflusso delle acque)

6. CONCLUSIONI

Le analisi idrauliche condotte nel presente studio hanno permesso di individuare il comportamento idrodinamico del fiume Lambro e degli allagamenti che interessano il territorio comunale di Cologno Monzese nei confronti di un evento di piena duecentennale.

Attraverso un modello idraulico bidimensionale implementato sulla base di un rilievo topografico di dettaglio eseguito ad hoc nel mese di luglio 2018, è stato possibile simulare il comportamento del Lambro nel tratto compreso tra il ponte dell'Autostrada A4 Milano-Venezia e l'attraversamento del Naviglio Martesana.

Come concordato preventivamente con il Comune di Cologno Monzese la modellazione idraulica è stata condotta considerando nell'assetto attuale del Lambro sia il by-pass di via San Maurizio al Lambro (progetto AIPO in corso di ultimazione) che le opere di difesa spondale in corrispondenza di via Barcellona, in quanto già pianificate e di prossima realizzazione.

Relativamente al territorio comunale di Cologno Monzese i risultati della simulazione mettono in evidenza che i tiranti maggiori si registrano nelle aree golenali a monte del by-pass di via San Maurizio e nell'intorno del sottopasso di via Galilei, dove la presenza del rilevato stradale della tangenziale Nord Milano impedisce il deflusso delle acque verso valle. L'estensione delle esondazioni risulta fortemente legata alla natura del piano campagna che degrada in direzione nord-sud e fa sì che le acque esondate nei territori di monte raggiungono i territori di valle anche diverse ore dopo il passaggio del colmo di piena.

I Tecnici Incaricati

Dott. Geol. Efrem Ghezzi

Dott. Ing. Alessandro Balbo



Stampa professionale del Dott. Geol. Efrem Ghezzi, iscritto all'Albo dei Geologi della Lombardia n. 640 AP, Sezione A. La stampetta è circolare e contiene il nome del professionista e i dati dell'iscrizione. Sotto la stampetta è presente una firma in blu.



Stampa professionale del Dott. Ing. Alessandro Balbo, iscritto all'Albo degli Ingegneri della Provincia di Milano n. A 22903. La stampetta è circolare e contiene il nome del professionista, il settore di attività (a) civile e ambientale, (b) industriale, (c) dell'informazione, e il numero di iscrizione. Sotto la stampetta è presente una firma in blu.