



SANT'ILARIO SOC.COP.ED.

via Arese, 10 - 20159 Milano
P.IVA 01895910121

COMUNE DI MILANO
DC SVILUPPO DEL TERR

PG 232478/2016

Del 29/04/2016 11:36:10

SANT'ILARIO SOC. COO

(S) PROT S PIANIFICAZION

29/04/2016

AREA PIANIFICAZIONE URBANISTICA
ATTUATIVA E STRATEGICA
ALLEGATO ALLA PROPOSTA DI DELIBERAZIONE
N. 2696 DEL 28-4-16
COMPOSTO DA PAG. 32

IL DIRETTORE DI AREA

Arch. Marco Porta

ARONED 2001 srl

Via Borgonuovo, 12 - 20121 Milano
P.IVA 03301030965



STUDIO IDRAULICO BIDIMENSIONALE FINALIZZATO ALL'ANALISI
DI MAGGIOR DETTAGLIO DELLE AREE ALLAGABILI DEL FIUME
LAMBRO NELLA ZONA DI VIA DEI CANZI A MILANO IN FUNZIONE
DELLA PROPOSTA ATTUATIVA IN ATTO.

Elaborato

01

Relazione Idraulica

aggiornamenti

scala

n. data

data

Aprile 2016

A cura di:



Via Daniele Crespi n° 7, 20123 Milano
P.IVA n° 04198500961
info@mmidro.it, www.mmidro.it
cent. +39-0258113831

Dott. Ing. Stefania Meucci

Dott. Ing. Carlo Maiorano

Coordinatore Scientifico

Prof. Ing. Marco Mancini



Con la collaborazione di:



Dott. Ing. Sergio Cioccarelli

Piazzale Bertacchi, 55 - 23100 Sondrio

Tel: 0342/21.80.93 - Fax: 0342/51.81.40

e-mail sergio@GDS98.it - studio@GDS98.it

P. I.V.A.: 00671360147



Dott. Geol. Fabio Baio

Via Roma, 6 - 24030

Caprino Bergamasco BG

Tel/fax: 035.784850 cell.: 348.4077470

e-mail fabio.baio@geologico.191.it



INDICE

1	CONSIDERAZIONI DI SINTESI	2
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	3
3	PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO.....	4
4	AREA DI STUDIO	5
5	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO.....	6
6	MODELLAZIONE IDRAULICA.....	6
6.1	MODELLO DI CALCOLO	7
6.2	SCHEMATIZZAZIONE GEOMETRICA.....	8
6.2.1	<i>Modellazione monodimensionale.....</i>	<i>8</i>
6.3	ATTRAVERSAMENTI	9
6.3.1	<i>Modellazione Bidimensionale</i>	<i>13</i>
6.3.2	<i>Interazione modello mono - bidimensionale.....</i>	<i>14</i>
6.4	SCABREZZA.....	15
6.5	DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA	16
6.6	CONDIZIONI AL CONTOURNO	17
7	RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICA	17
7.1	SIMULAZIONE PER T=10 ANNI	17
7.2	SIMULAZIONE PER T=200 ANNI.....	17
7.3	AREE INONDABILI A T=500 ANNI.....	19
7.4	AREE STORICAMENTE ALLAGATE	21
7.5	A CONFRONTO CON STUDI PREGRESSI SULL'AREA.....	22
8	CONCLUSIONI.....	24
9	ALLEGATI: PLANIMETRIE TIRANTI VELOCITÀ E PERICOLOSITÀ PER T =200 E 500 ANNI	25

1 CONSIDERAZIONI DI SINTESI

La presente relazione è redatta su incarico di Cooperativa S. Ilario con l'obiettivo di analizzare nel dettaglio la pericolosità idraulica dovuta alle esondazioni del fiume Lambro nell'area in cui è previsto il piano attuativo a Milano tra Via Crespi, via Canzi e via S. Faustino.

La relazione riporta le analisi idrauliche di dettaglio necessarie alla determinazione dei tiranti idrici, delle velocità e della pericolosità idraulica considerando gli scenari con tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni in accordo con la normativa regionale¹.

Attualmente l'Autorità di Bacino del Po classifica l'area di interesse con probabilità di esondazione media ($T=100/200$ anni) e rischio R4. Il Comune di Milano, che recepisce lo studio realizzato dal Politecnico di Milano nel 2004, classifica l'area con rischio moderato R1.

L'area di interesse è compresa tra la Fascia B di progetto posta sul rilevato arginale destro e quella di Fascia C che si estende fino al rilevato Ferroviario dell'asse Lambrate – Rogoredo. Queste aree sono regolamentate dal Comune di Milano secondo quanto previsto dall'art. 31 delle norme tecniche del PAI.

La relazione affronta, attraverso una modellazione idraulica bidimensionale di dettaglio dell'area, la differenza che esiste tra la cartografia di pericolosità idraulica del Comune di Milano e quella dell'Autorità Idraulica competente sul fiume Lambro (Studio di Fattibilità AdbPo 2003), nonché quella definita a seguito dei diversi aggiornamenti normativi e conoscitivi susseguitesesi per l'area in esame riportati nel capitolo Riferimenti Normativi.

Le analisi di seguito condotte non considerano possibili rotte arginali dovute al sormonto della attuale difesa arginale, né eventuali collassi del rilevato in terra una volta interessato dalla possibile esondazione.

Non vengono qui esaminati gli eventuali possibili allagamenti dovuti alle insufficienze del reticolo di drenaggio urbano.

L'analisi idraulica effettua la modellazione a vari tempi di ritorno utilizzando un modello numerico di dettaglio di propagazione della piena accoppiato bidimensionale e monodimensionale (utilizzando le sezioni dell'AdbPo per il fondo alveo e il rilievo LiDAR per la sponda arginale).

Il modello utilizzato è a elementi finiti con una maglia di discretizzazione i cui elementi hanno area compresa tra 25m^2 e 100m^2 , risoluzione che permette di distinguere effetti locali sulla corrente di esondazione in termini di tiranti e velocità.

La condizione al contorno è determinata dall'idrogramma di piena con portata al colmo duecentennale ($Q_{\max} = 315 \text{ m}^3/\text{s}$) definito, per l'assetto idraulico attuale, alla sezione del ponte di Via Rombon e desumibile dallo Studio di fattibilità dell'AdbPo².

Il dominio di calcolo è stato ricavato da un rilievo di tipo LiDAR ad alta risoluzione spaziale a celle $1 \times 1 \text{ m}$ mentre le sezioni del Lambro sono estrapolate dalla cartografia appena citata e corrette per quanto riguarda il fondo alveo con le sezioni rilevate dallo studio dell'AdbPo interpolate.

Le simulazioni a vari tempi di ritorno permettono di stabilire che l'allagamento non interessa l'area di via dei Canzi poiché essa si trova quasi un metro (quota 116.2 mslm) più alta rispetto alla parallela via Pitteri (115.3 mslm) che viene allagata. Il risultato conferma lo studio adottato dal Comune di Milano mentre differisce dall'aggiornamento cartografico del 2015 direttiva 2007/60/CE pubblicato dall'Autorità di Bacino del Po.

¹ Regione Lombardia, Allegato 4 dgr 12/2005, con nuova edizione dgr 11/2011 Allegato 4 n. IX/2616, punto 3.4

² AdbPo Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona del 12/2003

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

I riferimenti normativi che regolano le aree inondabili e quindi a rischio idraulico, specialmente quelle a tergo della "Fascia B di progetto" sono regolati secondo le seguenti norme che qui si riportano in ordine cronologico:

Autorità di Bacino del Po delibera n° 3/2003 del 25 febbraio 2003, che 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 16/08/2003.

Autorità di Bacino del Po, 2003 Norme Tecniche di attuazione del PAI, in particolare l'art 31 sancisce che la regolamentazione di uso delle aree inondabili compresi tra la Fascia B di progetto e la Fascia C è a carico dei comuni.

Regione Lombardia, 2003, indica ai Comuni che la verifica di compatibilità idraulica deve essere effettuata con metodo semplificato secondo i criteri della DGR 7/7365 del 11/12/2003 Allegato 2.

Tale verifica consistevano in un'analisi dal punto di vista idraulico della compatibilità del progetto con il deflusso delle acque di piena (Tempo di Ritorno 200 anni) in condizioni di moto monodimensionale stazionario.

Il Comune di Milano, febbraio 2004, visto che il metodo semplificato non consentiva di identificare le classi di rischio in Fascia C a tergo del limite di progetto della Fascia B del PAI, redige uno studio per la loro sotto perimetrazione con Metodo Approfondito secondo i criteri riportati nella DGR n.° 7/7365 del 11 dicembre 2001.

La Regione Lombardia (2005) DGR 12/2005 "regolamentazione uso del territorio" con allegato A. individua i criteri di pericolosità da adottare nelle aree di Fascia C a tergo della Fascia B di progetto in base a un diagramma di tirante velocità.

L'Autorità di bacino del PO (2006-2007) aggiorna la carta delle aree inondabili del Fiume Lambro in base allo Studio di Fattibilità secondo la direttiva 2007/60/CE

La Regione Lombardia 2011 nuova edizione dell'Allegato 4 alla DGR 12/2005

L'Autorità di bacino del Po (2015) aggiorna le aree di pericolosità idraulica (aggiornamento 2015 direttiva 2007/60/CE)

3 PERICOLOSITÀ E RISCHIO IDRAULICO

Il rischio idraulico, da intendersi come rischio di inondazione o danno atteso da parte di acque provenienti da corsi d'acqua naturali o artificiali, risulta essere, anche secondo l'approccio dettato dalla normativa nazionale (L.267/98) in materia, il prodotto di due fattori: la **pericolosità** (ovvero la probabilità di accadimento di un evento calamitoso di una certa entità) e il **danno atteso** (inteso come perdita di vite umane o di beni economici pubblici e privati).

La pericolosità è un fattore legato sia alle caratteristiche fisiche del corso d'acqua e del suo bacino idrografico, sia alle caratteristiche idrologiche, ovvero intensità, durata, frequenza e tipologia delle precipitazioni, nel bacino imbrifero dal quale si alimenta ogni corso d'acqua.

In Lombardia la normativa vigente in termini di Rischio idraulico è il DGR 30/11/2011 n. 2616 *"Criteri ed Indirizzi Per La Definizione Della Componente Geologica, Idrogeologica E Sismica Del Piano Di Governo del Territorio, in Attuazione Della LR 12/2005"* in cui si precisano i metodi di stima del Rischio Idraulico e quindi della Pericolosità Idraulica. Quest'ultima, ripresa nell'Allegato 4 LR 12/2005 è funzione della combinazione tra tiranti e velocità che si manifestano nelle aree allagabili, come mostrato nella seguente figura.

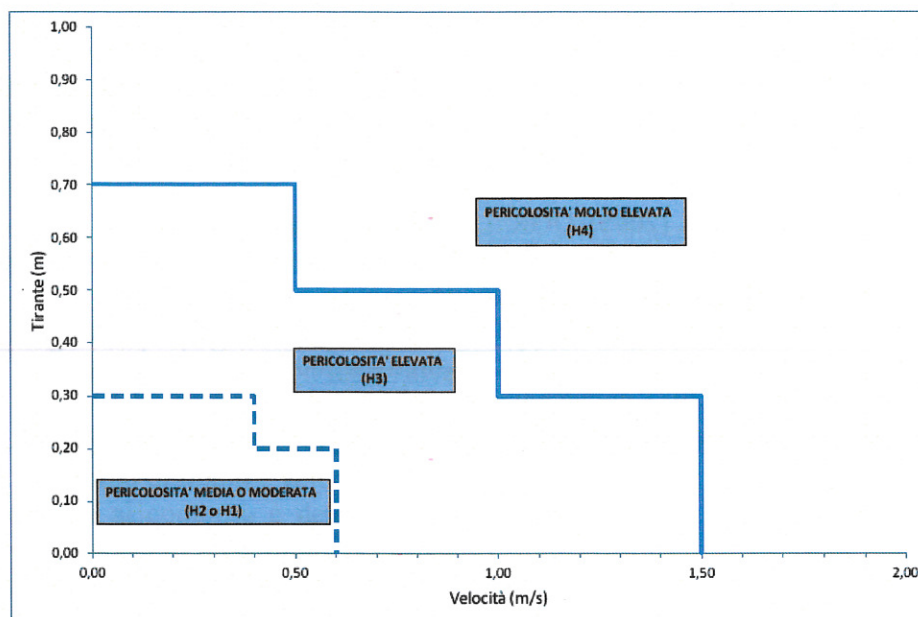


Figura 1. Soglie di pericolosità in termini di tirante idrico locale condizionato alla velocità locale della corrente (estratto Allegato 4 LR 12/2005)

4 AREA DI STUDIO

L'obiettivo del presente studio è valutare se il piano urbanistico attuativo previsto a Milano tra Via dei Canzi e via S.Faustino sia interessato da fenomeni di allagamento durante le piene del fiume Lambro. Per fare ciò occorre definire un dominio di studio sufficientemente ampio da comprendere la moltitudine di effetti idraulici che indirizzano il flusso della corrente che segue il profilo plano altimetrico del terreno ed è influenzato dalle infrastrutture presenti come attraversamenti, ponti, rilevati e tratti tombati.

Si può definire come dominio di studio una superficie di circa 511 ha situata nella periferia Est di Milano e delimitata a nord dal ponte di via Rombon a sud e ad ovest dal rilevato ferroviario della linea Milano-Treviglio a est dalla tangenziale Est e l'area dell'ex Innocenti nel quartiere Rubattino. L'area è a destinazione d'uso principalmente industriale con inserimenti residenziali di recente realizzazione come il lotto di interesse che si trova all'interno del dominio di studio (rettangolo blu della figura seguente).

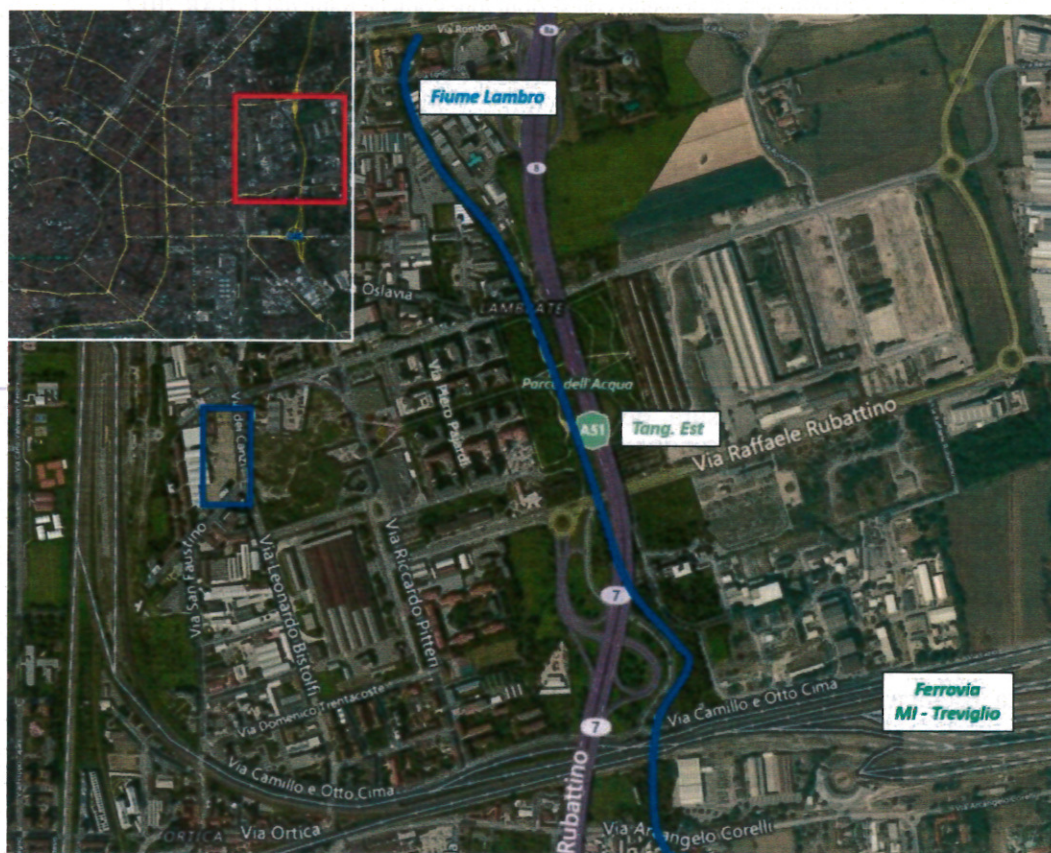


Figura 2. Inquadramento territoriale dell'area di studio: il riquadro in blu indica il posizionamento della nuova zona di edificazione in via dei Canzi

Il lotto in esame si trova nell'area "ex Nora" in via Canzi. Nella figura seguente è possibile visualizzare una mappa quotata dell'area all'epoca del rilievo (2012), una planimetria del nuovo progetto e due sezioni: A-A' trasversale (si individua la via dei Canzi a quota 116 m slm), la seconda B-B' è una sezione longitudinali lungo la suddetta via.

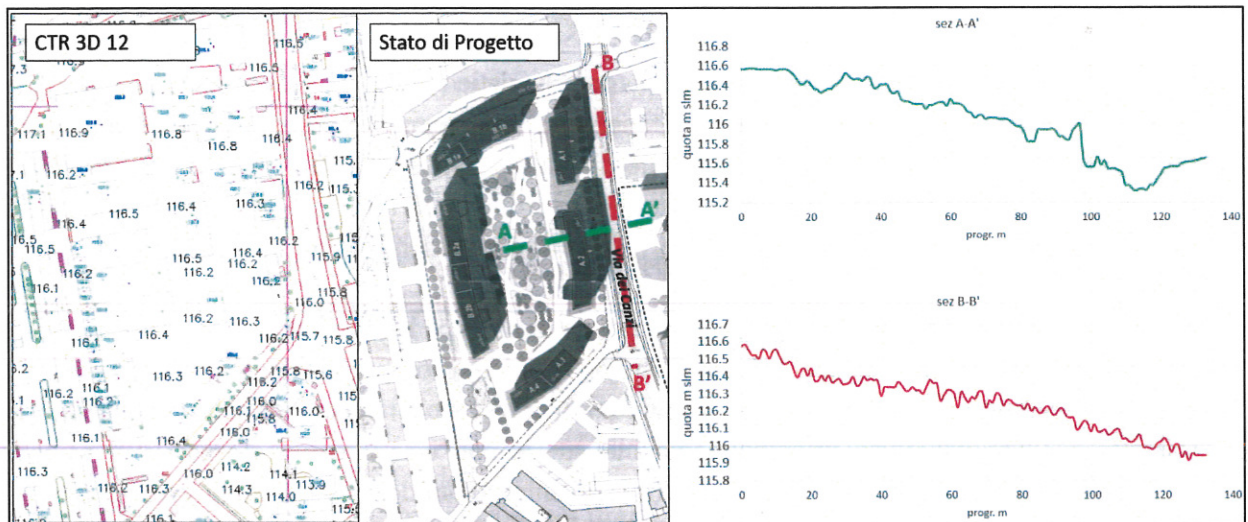


Figura 3. Da sinistra: Planimetria quotata (2012) tratta dall'aerofotogrammetrico del Comune di Milano, Planimetria di progetto con sezioni topografiche tratte dal LiDAR 2012

5 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Per le considerazioni circa l'attuale stato di esondazione dell'area di studio e gli idrogrammi di portata al colmo sono stati analizzati i documenti messi a disposizione dal Comune di Milano e dall'Autorità di Bacino del fiume Po:

- Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona. (Settembre 2003) Autorità di Bacino del Fiume Po – Studio realizzato da Ing. A. Paoletti.
- Valutazione delle classi di rischio delle fasce A, B e C e analisi degli scenari di rischio idrogeologico ed idraulico per le fasce C secondo quanto previsto dal P.A.I. per il corso del fiume Lambro, per la stesura dei criteri da introdurre nella normativa del P.R.G. in adeguamento al P.A.I. (20.02.2004). Convezione del Politecnico di Milano (Mambretti 2004) per il Comune di Milano.
- Valutazione delle aree di pericolosità idraulica, rischio idraulico facenti parte della direttiva 2007/CE aggiornamento 2015 e aree storicamente allagate. Materiale consultabile sul Geoportale della Regione Lombardia.

Per le simulazioni è stata utilizzata la seguente cartografia:

- Carta Tecnica Regionale 3D in scala 1:1 aggiornata a Luglio 2012;
- Rilievo digitale di tipo LiDAR a celle 1x1m datato 2012

Si è effettuato un sopralluogo con 2 misure puntuali del fondo alveo per validare le sezioni AdbPo.

6 MODELLAZIONE IDRAULICA

Per comprendere al meglio le dinamiche di allagamento all'interno del dominio di studio si è realizzato un modello idraulico accoppiato bidimensionale e monodimensionale, ovvero un modello che utilizza due tipi di equazioni che descrivono la propagazione dell'onda di piena all'interno dell'alveo. Si è utilizzato un approccio monodimensionale tipico delle correnti a pelo libero per simulare l'alveo del fiume Lambro, sulla piana, invece dove il moto è bidimensionale, si è adoperato un insieme di equazioni che risolvono il sistema nelle due dimensioni. In questo modo è possibile distinguere due comportamenti ben diversi che interagiscono tra loro al momento dell'esondazione dell'alveo di morbida. La modellazione è stata eseguita in moto vario utilizzando il software ICM Infoworks ver. 6.0 e si sono analizzati i seguenti scenari:

- Scenario frequente T=10 anni

- Scenario raro T=200 anni
- Scenario molto raro T=500 anni

I risultati della modellazione sono presenti nel capitolo 8 e comprendono l'analisi delle velocità, dei tiranti idrici e della pericolosità idraulica stimata utilizzando il grafico estratto dall'estratto Allegato 4 dgr 12/2005.

6.1 MODELLO DI CALCOLO

La modellistica idraulica dell'area di studio è stata implementata con il software Infoworks ICM ver. 6 sviluppato dall'azienda inglese HR Wallingford.

Infoworks ICM è un applicativo software per la verifica e la progettazione di sistemi idraulici complessi costituiti da reti idrauliche e corsi d'acqua di tipo naturale. Il software consente di costruire e risolvere, in regime di moto vario, modelli idraulici di tipo monodimensionale (1D) che consentono di valutare la propagazione dell'onda di piena in alveo, modelli idraulici di tipo puramente bidimensionale (2D) per lo studio della propagazione dell'esonazione in aree su cui è definita una griglia di elementi triangolari sulla base topografica costituita, generalmente, da un modello digitale del terreno (DTM) e modelli idraulici combinati (1D - 2D) con la modellazione ibrida monodimensionale nel canale e bidimensionale nelle aree inondabili.

Infoworks ICM è dotato di un risolutore per il moto vario nella conformazione bidimensionale che utilizza la metodologia di calcolo dei volumi finiti.

Il modulo di calcolo 2D utilizzato dal software Infoworks ICM si basa sulle ben note equazioni shallow water equations SWE. Le equazioni delle acque basse (shallow water), cioè la versione a profondità media delle equazioni di Navier-Stokes, sono utilizzate per la rappresentazione matematica dei flussi 2D. Le equazioni di SWE assumono che il flusso è prevalentemente orizzontale e che la variazione della velocità sulla verticale può essere trascurata.

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} &= q_{1D} \\ \frac{\partial(hu)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(hu^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial y} &= S_{0x} - S_{fx} + q_{1D}u_{1d} \\ \frac{\partial(hv)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left(hv^2 + \frac{gh^2}{2} \right) + \frac{\partial(huv)}{\partial x} &= S_{0y} - S_{fy} + q_{1D}v_{1d} \end{aligned}$$

Dove:

- h è l'altezza d'acqua;
- u e v sono le velocità nelle direzioni x ed y ;
- S_{0x} e S_{0y} sono le perdite di carico per effetto dell'attrito nelle direzioni x ed y ;
- q_{1D} è la portata di transito per unità di superficie;
- u_{1D} e v_{1D} sono le componenti di velocità della portata di transito nelle direzioni x ed y .

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

Il modulo 2D adotta una discretizzazione ai volumi finiti utilizzando elementi di controllo per rappresentare l'area di studio e utilizzando uno schema esplicito del primo ordine per la discretizzazione temporale. Con il metodo dei volumi finiti, il dominio di modellazione è diviso in forme geometriche su cui le SWE vengono integrate per poter definire equazioni in termini di flussi attraverso i confini dell'elemento di controllo.

Il modello idraulico Infoworks ICM combina la modellazione monodimensionale (1D) in alveo alla modellazione bidimensionale nelle aree inondabili adiacenti all'alveo comprese nell'area modellata con magliatura variabile triangolare (2D zone).

L'interfaccia tra alveo e zona 2D è costituita da connessioni spondali dette "bank lines". Ciascun tratto fluviale può essere collegato lateralmente ad altri tratti fluviali, a casse d'espansione (storage

areas) o a zone 2D ed il flusso dal corso d'acqua può essere in uscita dall'alveo o di rientro in alveo. Il flusso attraverso le sponde è modellato analogamente allo sfioratore laterale a funzionamento libero o rigurgitato in funzione dei livelli idrici presenti in alveo e dai tiranti presenti nella zona 2D.

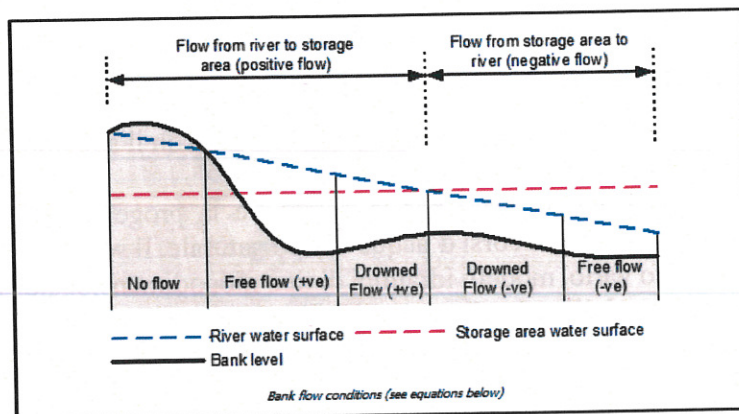


Figura 4. Schema di calcolo del flusso attraverso le linee di sponda nel modello idraulico Infoworks ICM

L'equazione di base dello stramazzone in parete grossa implementata nel modello idraulico per il calcolo del flusso attraverso le linee di sponda è:

$$Q = C_d b h^{1.5}$$

Il termine C_d rappresenta il coefficiente di efflusso variabile da 1.7 a 1.85 (nella formulazione implementata nel modello Infoworks ICM il coefficiente di deflusso è di tipo anglosassone quindi moltiplicato per il fattore $\sqrt{2g}$). Il valore del coefficiente di deflusso C_d deve essere ridotto se, anziché avere il deflusso da strutture in calcestruzzo, si ha deflusso su strutture arginali in sponde naturali. Per modellare il flusso attraverso linee di sponda di tipo naturale risulta opportuno assumere valori pari o inferiori a 1 che consentono di considerare le perdite di carico indotte dall'attrito sopra la linea spondale.

6.2 SCHEMATIZZAZIONE GEOMETRICA

La schematizzazione geometrica si può dividere in due parti fondamentali, che ricalcano la suddivisione già spiegata precedentemente sul differente comportamento dell'acqua nella piana alluvionale (modello bidimensionale) e all'interno dell'alveo principale (modello monodimensionale).

6.2.1 Modellazione monodimensionale

La modellazione idraulica dell'alveo del fiume Lambro è stata eseguita adottando un modello monodimensionale poiché la componente di questi effetti è predominante sugli effetti di propagazione ad esso ortogonali. Per riprodurre fedelmente lo stato di fatto, in assenza di un rilievo ad hoc del fondo alveo, le sezioni sono state estrapolate dal modello digitale delle quote LiDAR e confrontate con le sezioni dell'Autorità di Bacino rilevate nel 2003 nei pressi degli attraversamenti principali e dei manufatti idraulici. Il confronto correttivo è doveroso poiché sia l'aerofotogrammetrico comunale (CTR 3D) che il rilievo LiDAR non individuano chiaramente la quota del fondo alveo, ma la quota raggiunta dall'acqua al momento del rilievo.

Una rilievo speditivo effettuato sul campo ha permesso di misurare la quota del fondo dell'alveo in due sezioni rispetto all'impalcato del ponte e quindi confermare le quote dello studio del 2003.

Il risultato finale evidenziato in figura è una sezione che ha la geometria tratta dal modello digitale e le quote di fondo ricavate interpolando il profilo di fondo tratto dallo studio dell'Autorità di Bacino.

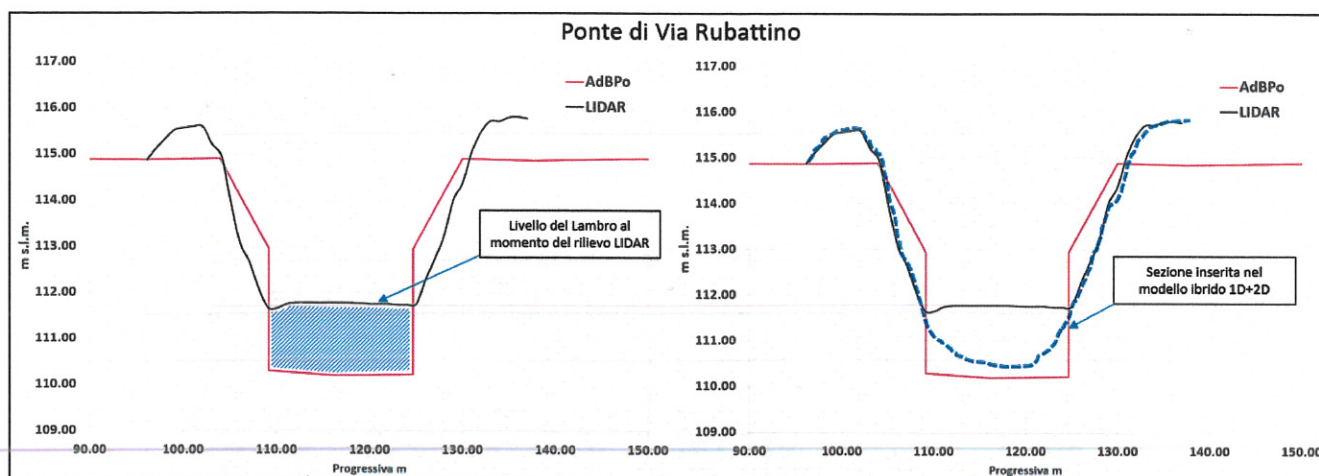


Figura 5. Confronto delle sezioni idrauliche rilevate dall'Autorità di Bacino del Po (AdBPo 2003) con quelle estrapolate da modello LiDAR (2012) che non tiene conto del fondo alveo.

6.3 ATTRAVERSAMENTI

Per quanto riguarda il rilievo dei ponti e soglie si sono utilizzate, anche in questo caso, le sezioni di riferimento dell'Autorità di Bacino. Le sezioni sono state inserite verificando che le quote fossero congrue anche con il modello digitale delle quote e l'aerofotogrammetrico comunale.

Di seguito si riportano le geometrie dei ponti utilizzati da monte verso valle all'interno del modello.

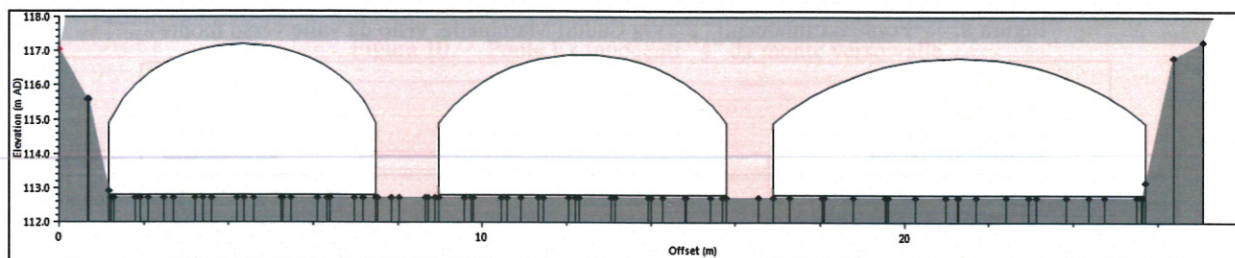


Figura 6. Ponte di via E.Folli – Sezione inserita nel modello idraulico

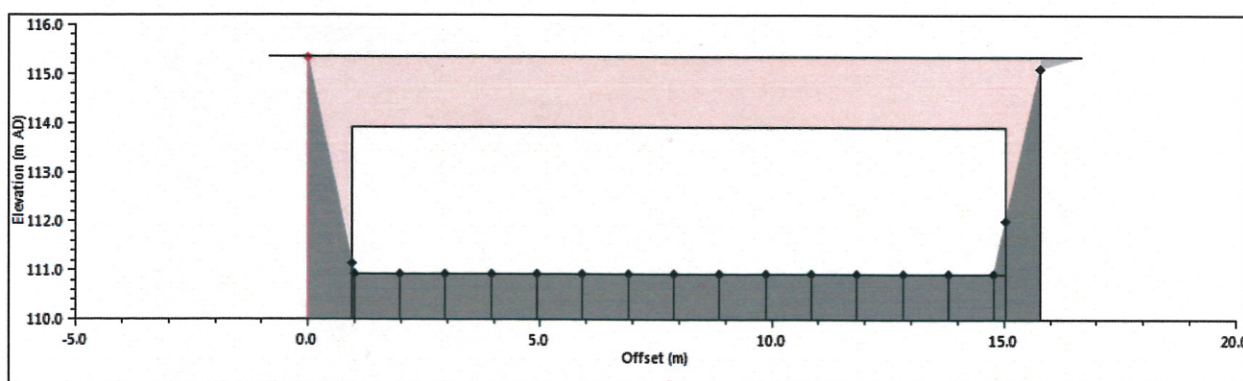


Figura 7. Ponte Ex innocenti "1" – Sezione inserita nel modello idraulico

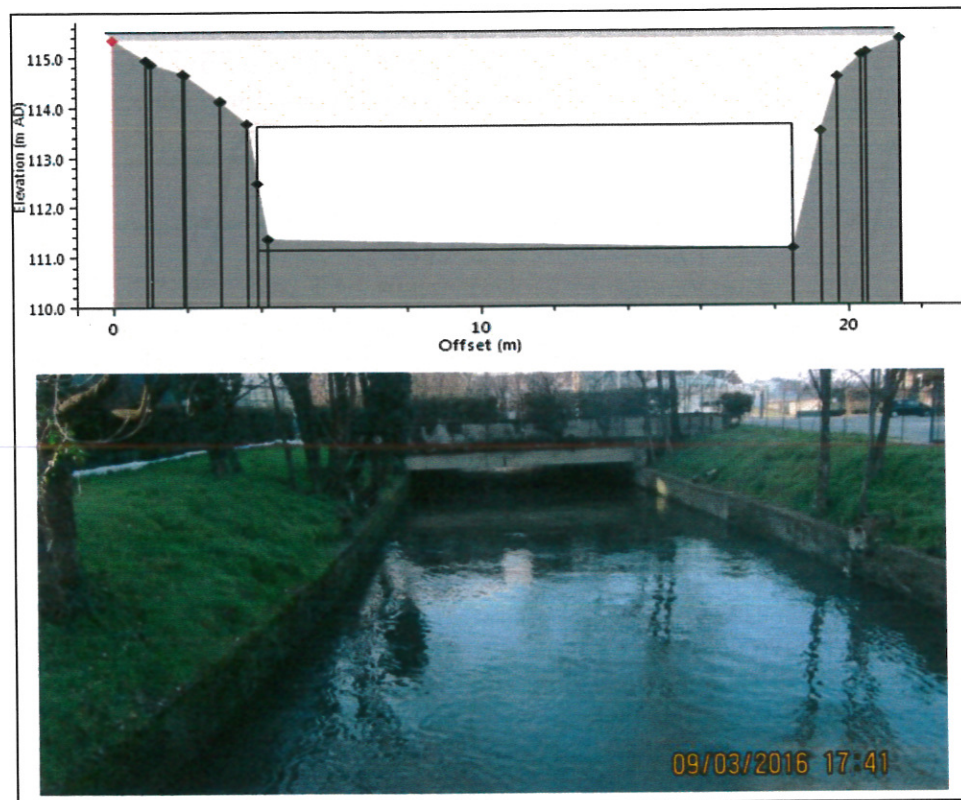


Figura 8. Ponte Ex innocenti "2" Via Caduti Marcinelle, visto da valle verso monte

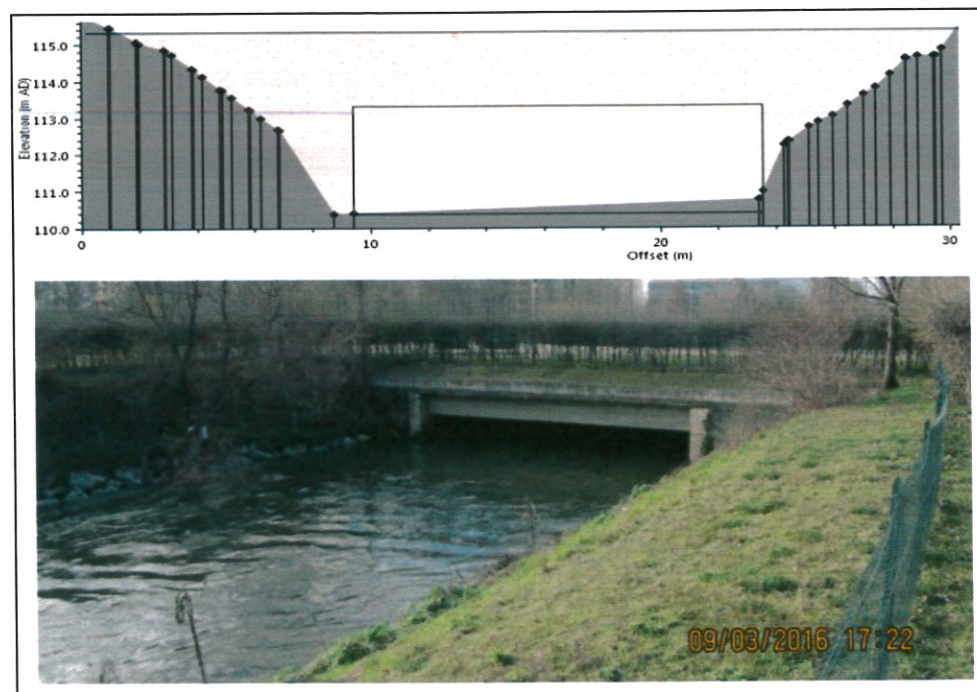


Figura 9. Ponte Ex innocenti "3", visto da valle verso monte

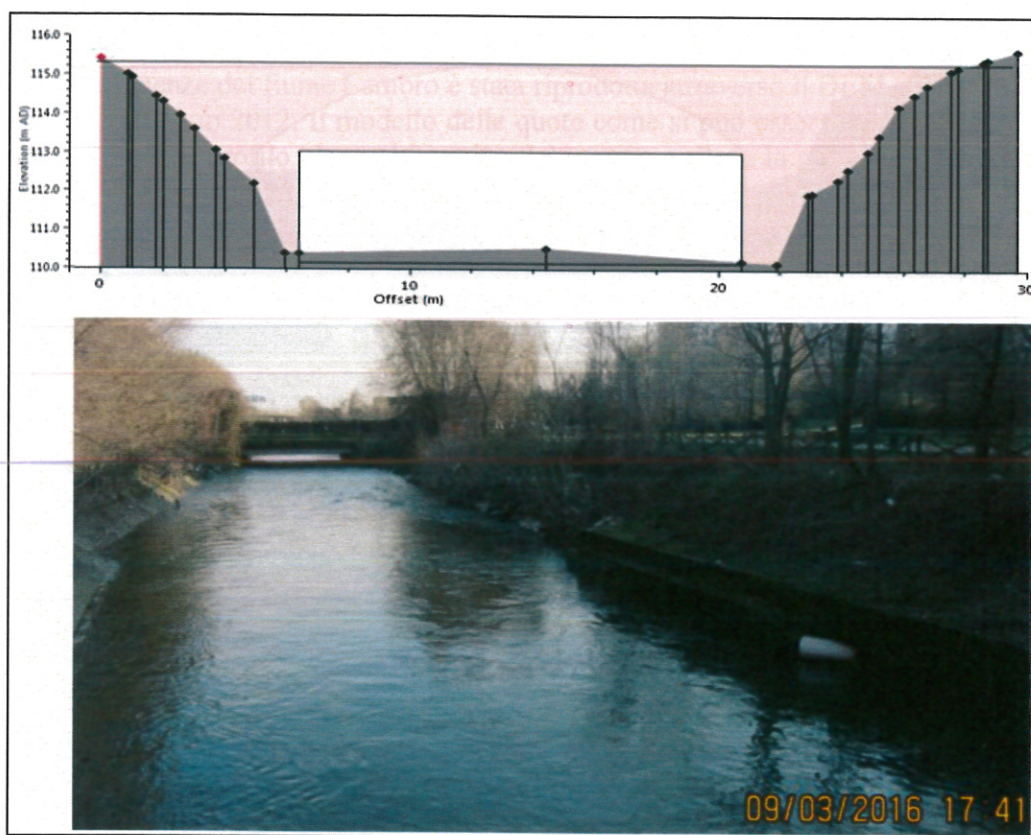


Figura 10. Ponte Ex innocenti "4" da monte verso valle

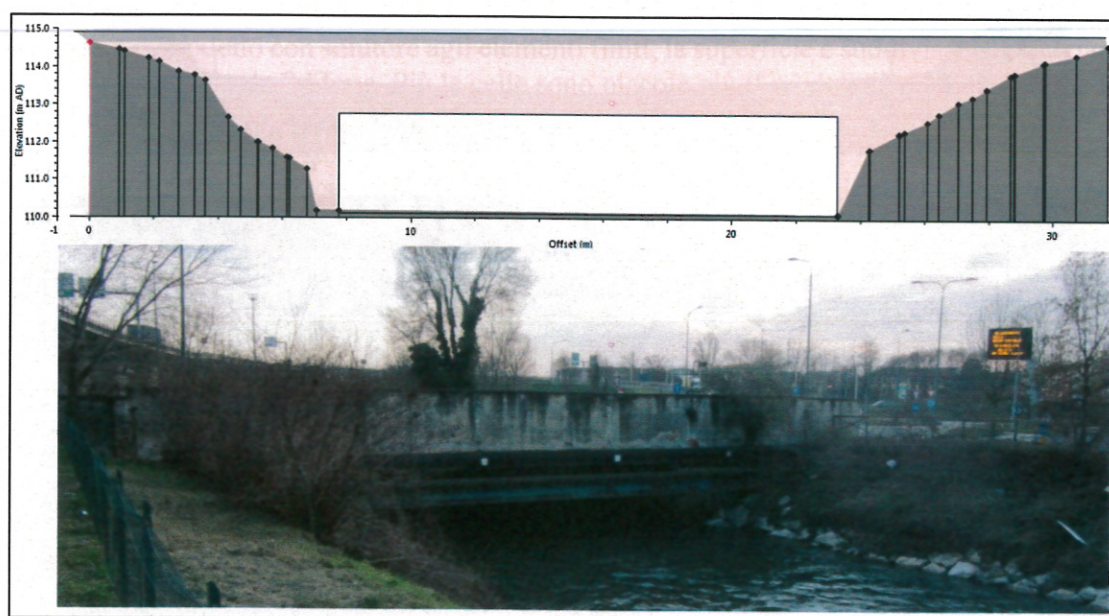


Figura 11. In alto sezione del ponte di via Rubattino inserita nel modello. In basso foto del ponte vista da monte verso valle

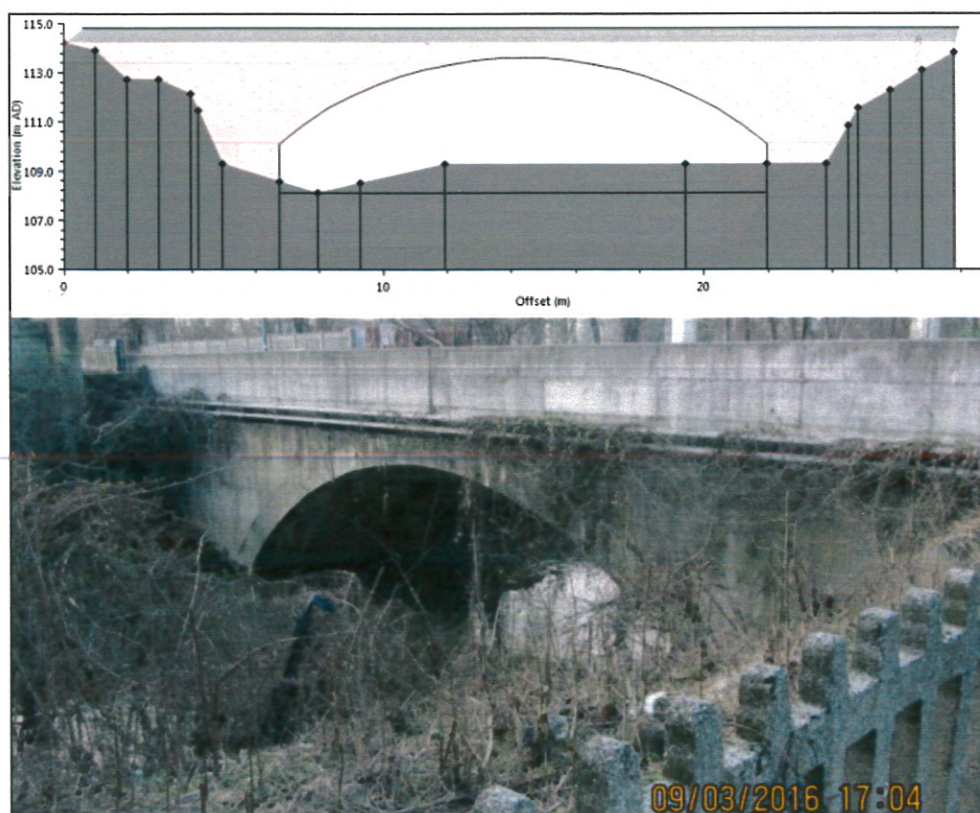


Figura 12. Ponte viale Lazio, visto da valle verso monte

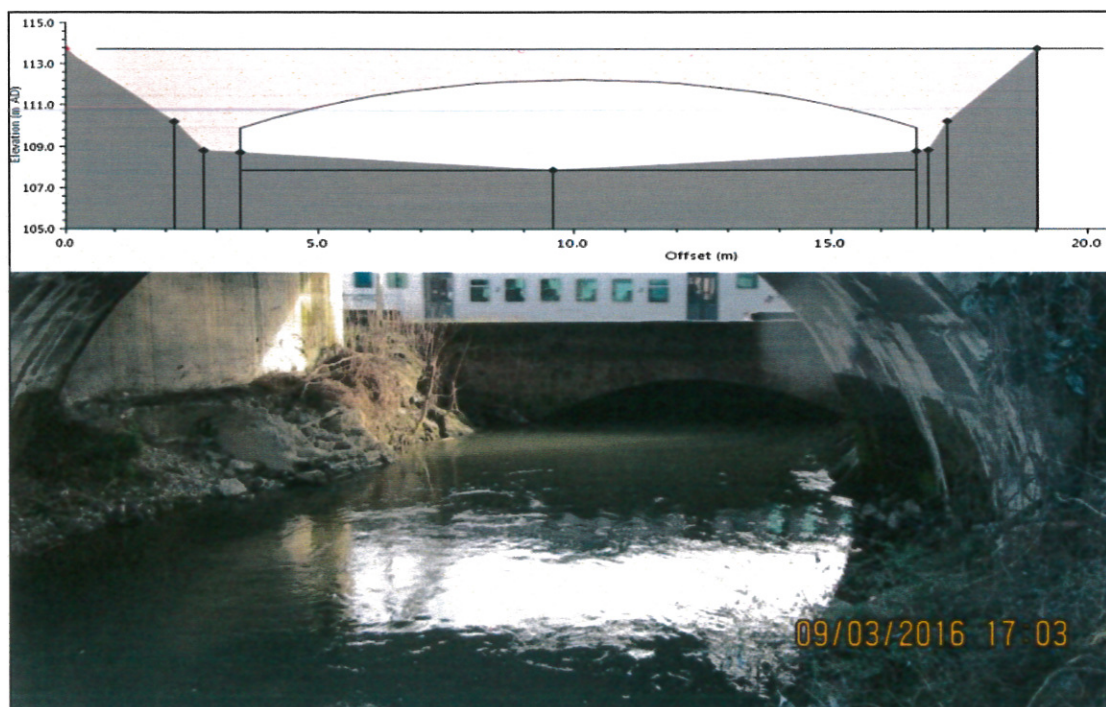


Figura 13. Ponte FFSS, visto da monte verso valle

6.3.1 Modellazione Bidimensionale

La piana nelle adiacenze del fiume Lambro è stata riprodotta attraverso il DEM a celle 1x1m di tipo LiDAR risalente all'anno 2012. Il modello delle quote come si può osservare dalla figura seguente riproduce molto bene il profilo piano altimetrico del terreno e rileva la presenza di strade e rilevati che possono incidere sugli effetti direzionali di propagazione dell'allagamento.

Il DEM è stato preventivamente depurato dell'edificato, della componente arborea presente all'interno del dominio e soprattutto del viadotto della tangenziale EST, oltre che dei numerosi ponti; in questo modo si è ottenuta una superficie uniforme corrispondente alla realtà.

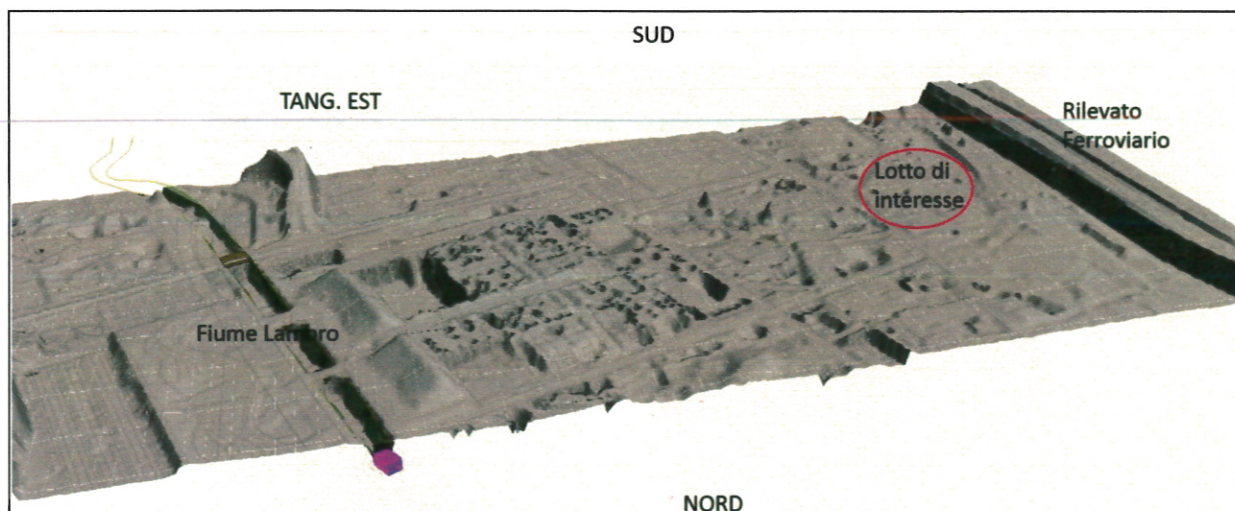


Figura 14. Modello digitale delle quote (LiDAR 2012) dell'area di studio. Si riconoscono il rilevato della tangenziale EST, il rilevato ferroviario della linea Lambrate – Rogoredo e il fiume Lambro.

Trattandosi di un modello con solutore agli elementi finiti, la superficie è suddivisa in celle triangolari (mesh) tramite il comando 2dZone. Più le celle sono piccole più il modello è di dettaglio, ma i tempi di simulazione risultano più alti. Un buon compromesso dovuto all'estensione del dominio di studio e al grado di dettaglio richiesto ha individuato le dimensioni della mesh di calcolo comprese tra un valore minimo di 25 m² e un valore massimo di 100 m² per un totale di circa 80.000 celle di calcolo.



Figura 15. Mesh di calcolo a celle triangolari. Si individua l'asta del fiume Lambro modellata in 1D (area priva di mesh)

Gli edifici sono stati introdotti manualmente nel modello dei poligoni impermeabili tratti dall'aerofotogrammetrico comunale (2012) e opportunamente integrati tramite le più recenti immagini satellitari. In figura si ha una panoramica della geometria introdotta: in verde il dominio di calcolo, in azzurro gli edifici, in marrone i ponti e le linee in giallo delimitano l'alveo principale modellato in monodimensionale.

Un'altra caratteristica contenuta nel modello è la presenza degli attraversamenti stradali nel rilevato ferroviario, che rappresentano una via di uscita preferenziale dato il posizionamento trasversale alla corrente di quest'ultimo. Si riporta un esempio del *conduit* inserito nel modello che rappresenta il sottopasso di via Lazio e quello di via Ortica.

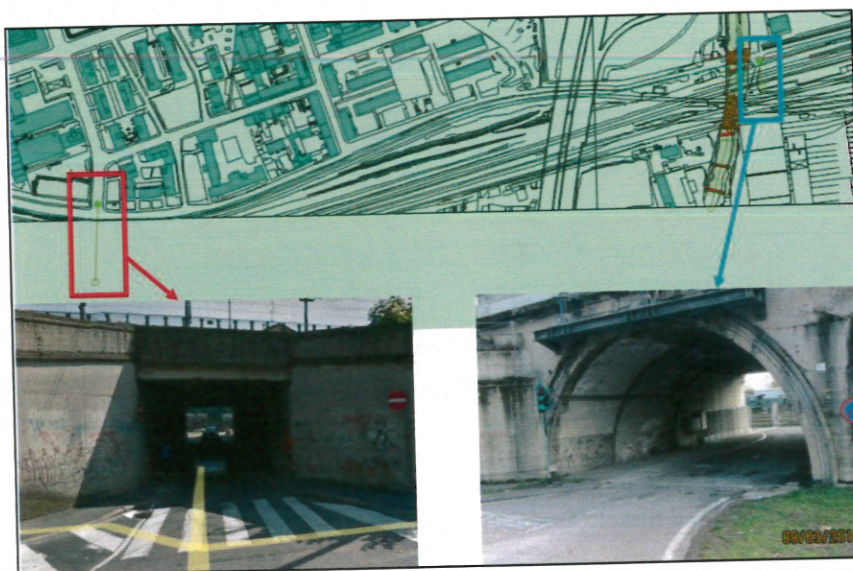


Figura 16. Sottopassi inseriti all'interno del rilevato della ferrovia Milano-Treviglio.

6.3.2 Interazione modello mono – bidimensionale

Per ricreare il più fedelmente possibile le aree di allagamento che si generano durante gli eventi di piena è necessario che il modello monodimensionale del Lambro interagisca con il modello bidimensionale dell'area circostante. L'interazione avviene tramite l'utilizzo di elementi specifici che simulano i diversi comportamenti idraulici.

La fuoriuscita dell'acqua lungo gli argini dell'alveo principale è costituito dall'elemento *bank line* lungo l'argine destro e sinistro del corso d'acqua (linee che delimitano l'alveo principale). Tale elemento permette di far interagire le portate transitanti nel modello monodimensionale con la maglia 2D adiacente, nel caso in cui il tirante idrico nella sezione sia superiore a uno o entrambi gli argini.

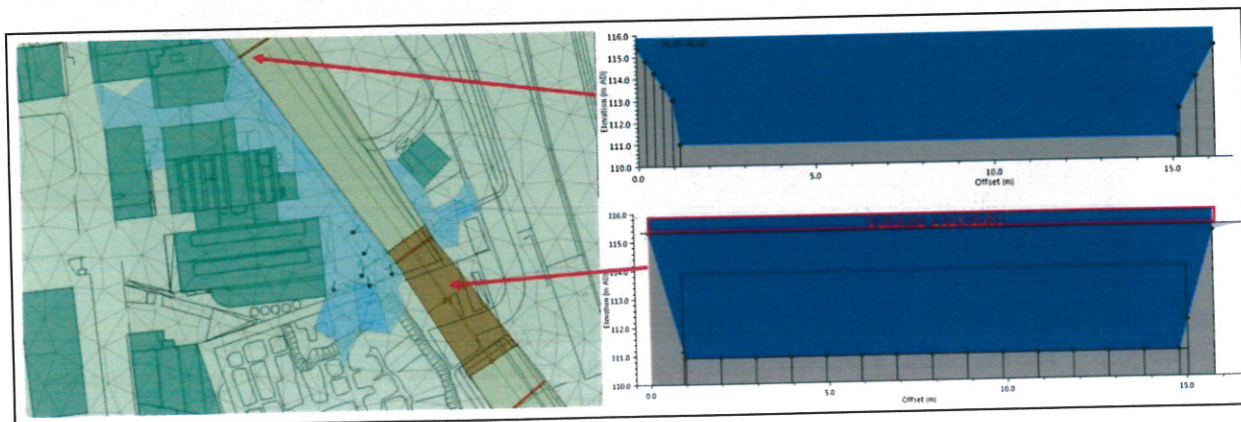





Figura 17. Interazione tra modello 1D e modello 2D (con celle) durante un'esondazione provocata dall'insufficienza idraulica di un ponte

6.4 SCABREZZA

Trattandosi di un modello di dettaglio si è ritenuto diversificare nella piana, le zone a differente coefficiente di scabrezza di Strickler ($m^{1/3}/s$). Per il fiume Lambro si è adottata una scabrezza unica su tutta l'asta analizzata ipotizzando trascurabili le variazioni dato che si sta considerando un tronco di lunghezza poco significativa.

I valori di scabrezza adottati nel modello sono riportati in tabella:

Dominio	Scabrezza	Foto rappresentativa
1D	Alveo di pianura a fondo in ghiaia con sponde in terra, vegetazione scarsa. Talvolta con massi ciclopici sulle sponde. $K_s = 35 \text{ m}^{1/3}/s$	
2D	Area pianeggiante con discretamente urbanizzata con presenza di campi agricoli e di aree golenali $K_s = 15 \text{ m}^{1/3}/s$	
2D	Rete Stradale. $K_s = 50 \text{ m}^{1/3}/s$	

In figura si può notare la disposizione delle aree a diversa scabrezza. Nelle zone violetto si è utilizzato un coefficiente di Strickler pari a $50 \text{ m}^{1/3}/s$ dovuto alla presenza della rete stradale asfaltata. In azzurro gli edifici, considerati impermeabili, non interagiscono con il flusso se non come ostacolo. In verde chiaro è rappresentata la scabrezza della piana, mentre in giallo è raffigurato il profilo dell'alveo principale del fiume Lambro.



Figura 18. Planimetria del modello idraulico. In violetto la rete stradale con scabrezza specifica, in azzurro gli edifici, in marroncino i ponti presenti nel sottomodello 1D.

6.5 DEFINIZIONE DEGLI IDROGRAMMI DI PIENA

La condizione al contorno di monte del modello idraulico è l'idrogramma di progetto. In questo caso si sono utilizzati gli idrogrammi dell'Autorità di Bacino (2003)³. Lo studio individua per la sezione idraulica di inizio modello, ovvero la sezione a valle del ponte di via Rombon (LA71887) gli idrogrammi per i 3 scenari di riferimento mostrati in figura seguente.

³ "PROGETTO DI VARIANTE AL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) APPROVATO CON DPCM 24 MAGGIO 2001-FASCE FLUVIALI DEL FIUME LAMBRO NEL TRATTO DAL LAGO DI PUSIANO ALLA CONFLUENZA CON IL DEVIATORE REDEFOSI" (Art.17, Comma 6ter Legge 18 Maggio 1989, N.183)

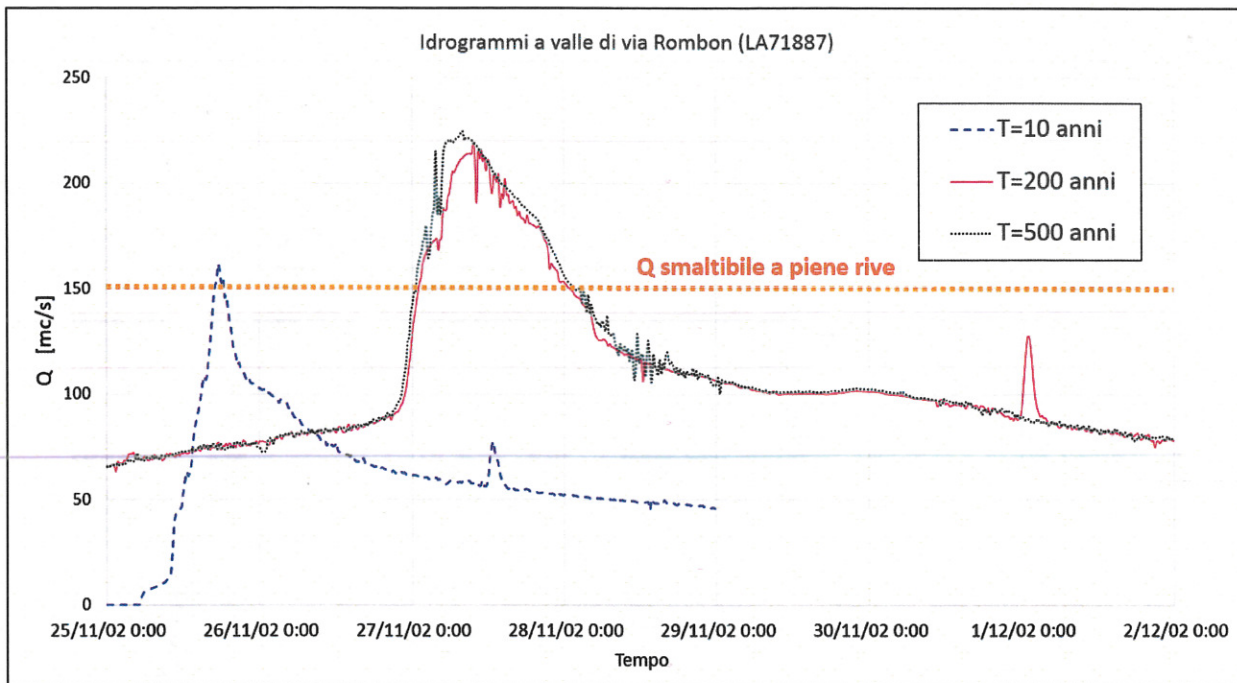


Figura 19. Idrogrammi a vari $T=10, 200, 500$ anni e indicazione della portata smaltibile a piene rive nel tratto specifico in studio

Si nota come all'aumentare del tempo di ritorno oltre alla massima portata al colmo, aumenti anche la durata dell'idrogramma. Dalla simulazione in moto monodimensionale si è ricavato che il valore massimo di portata smaltibile a piene rive (senza franco) nel tratto di Lambro tra via Rombon e il rilevato ferroviario della linea Milano – Treviglio risulta circa 150 mc/s.

6.6 CONDIZIONI AL CONTORNO

Le condizioni al contorno utilizzate all'interno del modello sono di altezza di moto uniforme sui bordi del dominio 2D, mentre gli idrogrammi sono stati caricati in testa al modello alla sezione a valle del ponte di via Rombon.

7 RISULTATI DEL MODELLO IDRAULICA

7.1 SIMULAZIONE PER $T=10$ ANNI

La simulazione con tempo di ritorno di 10 anni ha una portata al colmo di piena pari a 160 mc/s per un brevissimo tempo. Tale valore è di poco superiore alla portata smaltibile dal fiume Lambro senza franco e a piene rive stimato nel modello che è pari a 150 mc/s. Per questo motivo si può dire che non ci sono effetti di allagamenti per questo scenario frequente e che l'acqua è interamente contenuta all'interno degli argini.

7.2 SIMULAZIONE PER $T=200$ ANNI

La simulazione con tempo di ritorno di 200 anni ha una portata al colmo di piena pari a 215 mc/s con un idrogramma che ha durata maggiore del precedente. Il picco supera la capacità smaltibile del corso d'acqua. Tuttavia si sono effettuate delle simulazioni anche con un idrogramma dell'Autorità che prevede dei picchi istantanei anche di 315 mc/s. In allegato sono riportate le mappe con i risultati di quest'ultimo per motivi cautelativi. Di seguito si riportano la mappa dei tiranti, delle velocità e della pericolosità idraulica, calcolata con il grafico della direttiva regionale, relative alla zona di via Canzi.

Si nota come tale zona non viene allagata in nessuno scenario. Le mappe sono anche consultabili nell'allegato (cap 8).

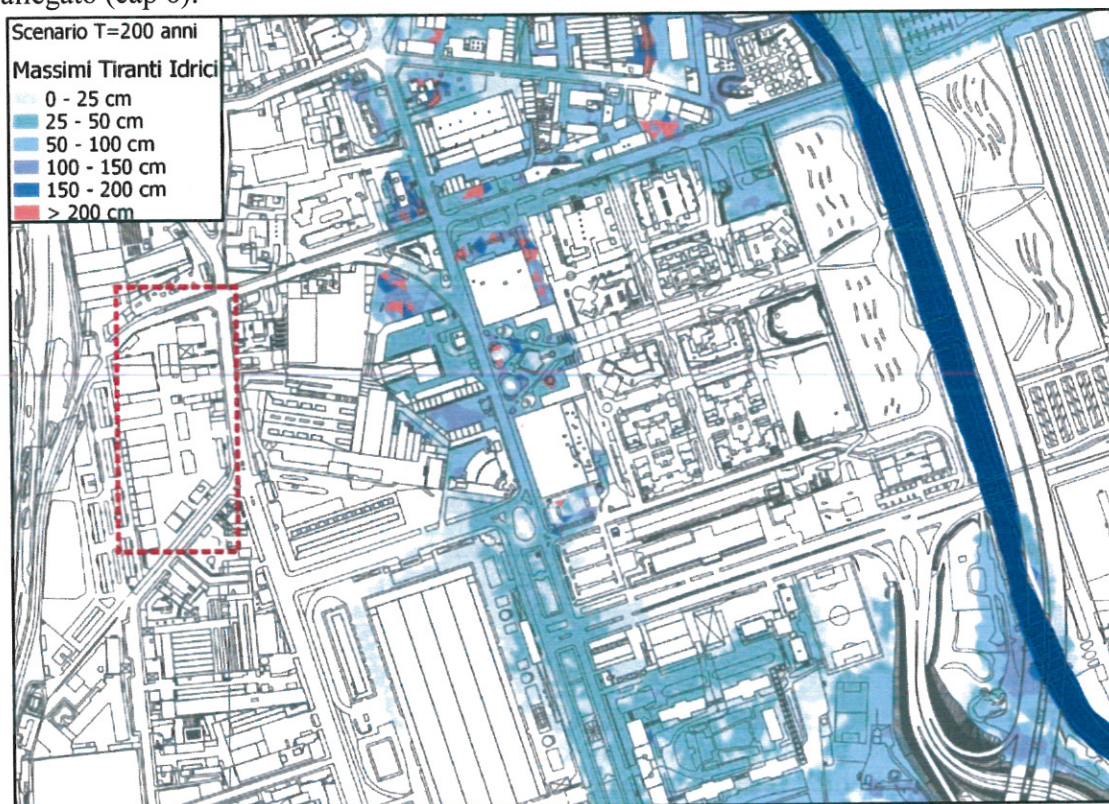


Figura 20. Mappa dei massimi tiranti per uno scenario T=200 anni



Figura 21. Mappa delle massime velocità per uno scenario T=200 anni

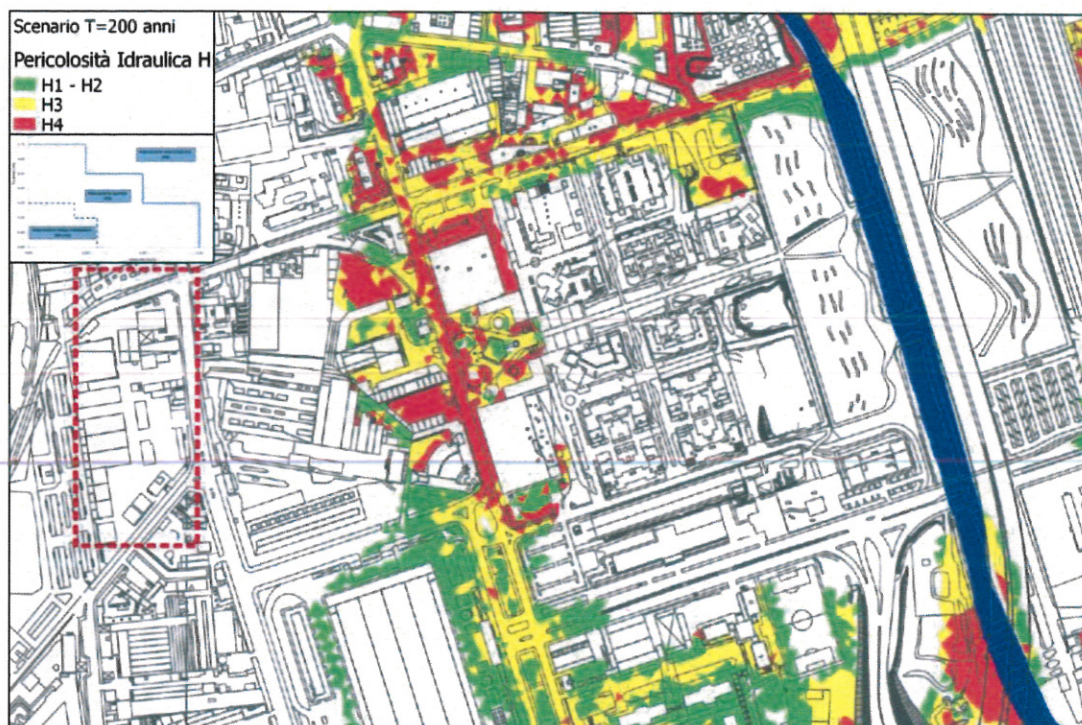


Figura 22. Mappa della pericolosità idraulica T=200 anni secondo l'allegato 4 dgr 12/2005

La simulazione mostra chiaramente (allegati al capitolo 8) come il Fiume Lambro esondi in destra a monte del ponte ex innocenti 1 e allaga la via Pitteri⁴ che si trova a una quota più bassa rispetto a via dei Canzi che rimane quindi esterna agli allagamenti. Si nota che il flusso aggira un complesso residenziale di recente edificazione (adiacente al "Parco dell'Acqua") la cui quota del terreno risulta rialzata rispetto al vecchio piano campagna). L'area allagata prosegue verso valle accumulandosi nella zona del rilevato ferroviario. In sinistra il Lambro esonda allagando i capannoni dell'area dell'ex Innocenti fino al rilevato ferroviario.

7.3 AREE INONDABILI A T=500 ANNI

Lo scenario a T=500 anni ha un picco di circa 230 mc/s., tale portata risulta inferiore a quella di 200 anni di tempo di ritorno ($Q_{T200} = 315$ mc/s) poiché in questo caso (T=500 anni) l'idrogramma in ingresso al modello proposto dall'autorità di bacino è privo di instabilità numerica (picchi istantanei di portata).

Per tale motivo le mappe seguenti mostrano una situazione meno critica rispetto a quella di 200 anni di tempo di ritorno

Si riportano gli estratti delle mappe dei massimi tiranti, della velocità e della pericolosità idraulica in cui si evidenzia che l'area in progetto non viene allagata in questo scenario.

⁴ In via Pitteri ci sono tiranti idrici tra 25 – 50 cm e velocità tra 0,5 e 1 m/s

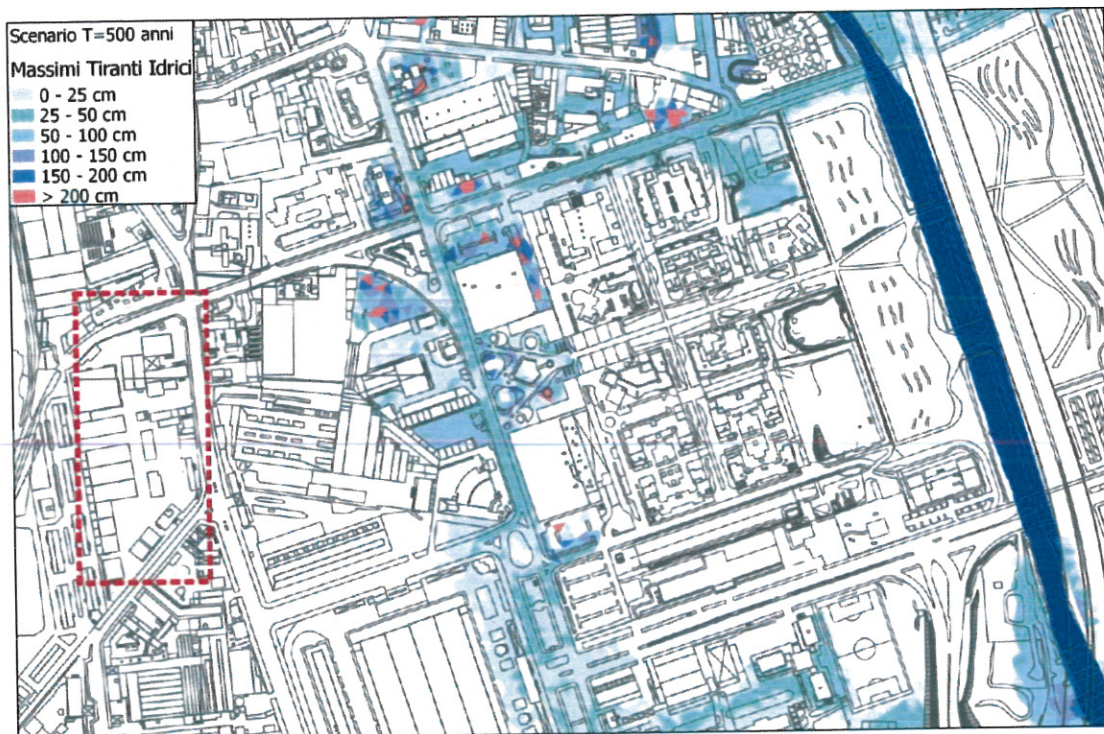


Figura 23. Mappa dei massimi tiranti idrici per uno scenario T=500 anni

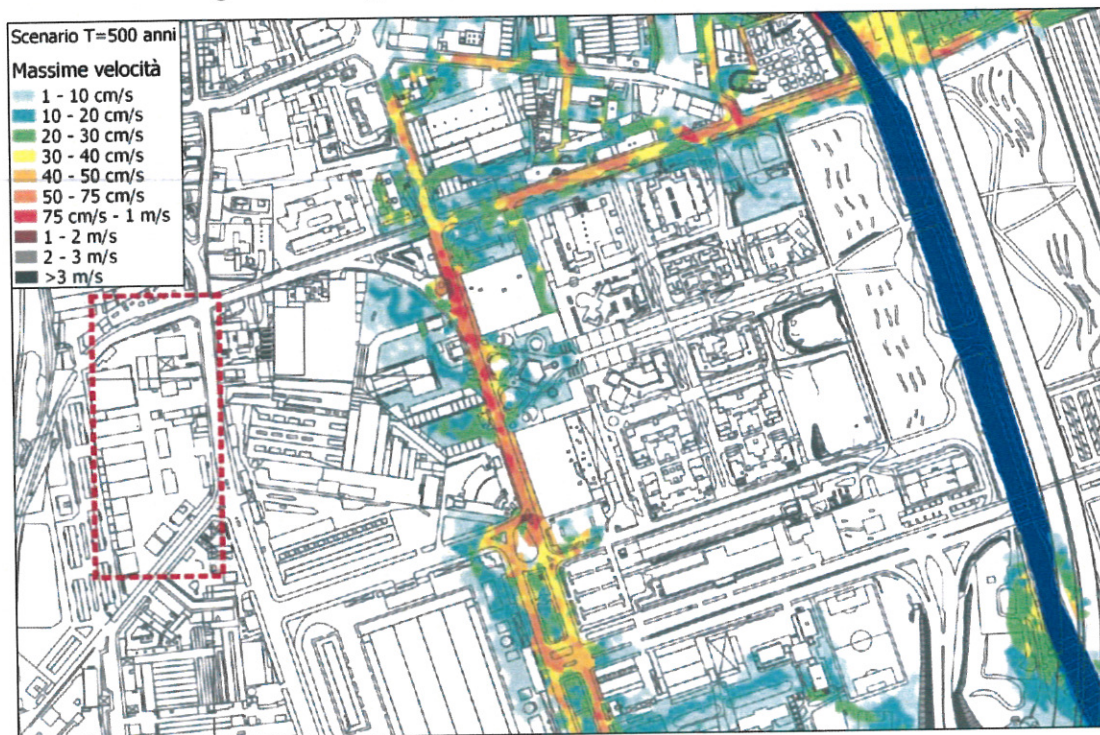


Figura 24. Mappa delle massime velocità per uno scenario T=500 anni

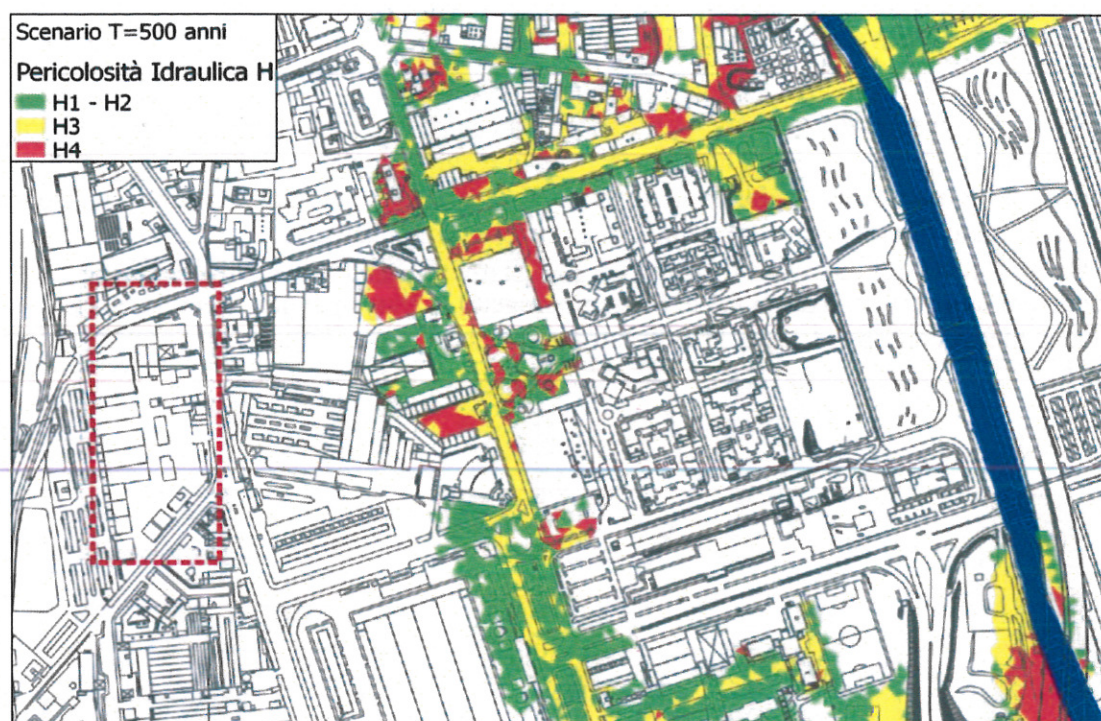


Figura 25. Mappa della pericolosità idraulica T=500 anni secondo l'allegato 4 dgr 12/2005

7.4 AREE STORICAMENTE ALLAGATE

Si riporta nel seguente paragrafo, come approfondimento, la perimetrazione delle aree storicamente allagate estratte dal Geoportale della Regione Lombardia. Si nota che per i fenomeni fino ad ora osservati (Alluvioni del 1947, 1951 e 2000) l'area di interesse di Via dei Canzi non sia mai stata interessata dagli allagamenti.

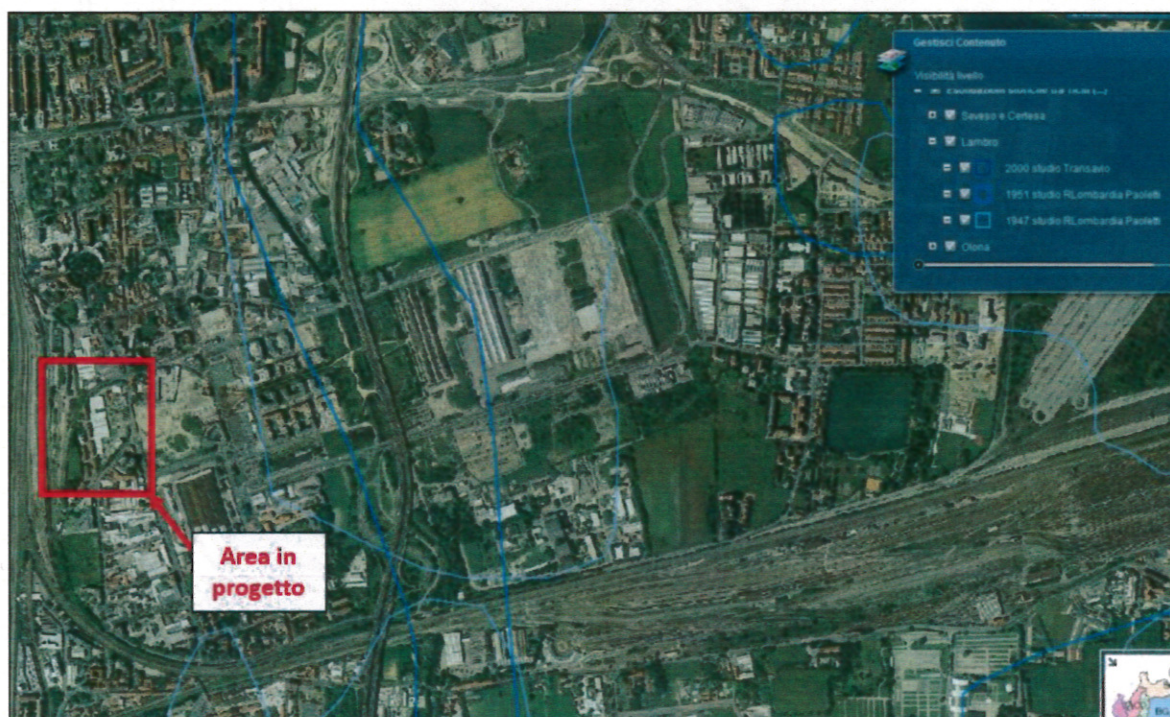


Figura 26. Aree storicamente allagate nel fiume Lambro (Geoportale regione Lombardia)

7.5 A CONFRONTO CON STUDI PREGRESSI SULL'AREA

Di seguito si mostrano i risultati dei due studi precedenti effettuati sull'intera asta del fiume Lambro: il primo è quello recepito dal Comune di Milano (Politecnico di Milano) in cui si nota che l'area in progetto di via dei Canzi è perimetrata come R1 ma in realtà non viene allagata. A questo proposito è mostrata in figura 28 un ingrandimento della tavola tiranti velocità: le celle corrispondenti contornate in rosso riportano un valore nullo di entrambe le grandezze.

L'altro studio è quello dell'autorità di bacino del Po che tramite la direttiva 2007/60/CE ha pubblicato una mappatura delle aree allagabili in cui l'area in progetto si allaga per uno scenario con probabilità di alluvione media corrispondente a $T=100-200$ anni.

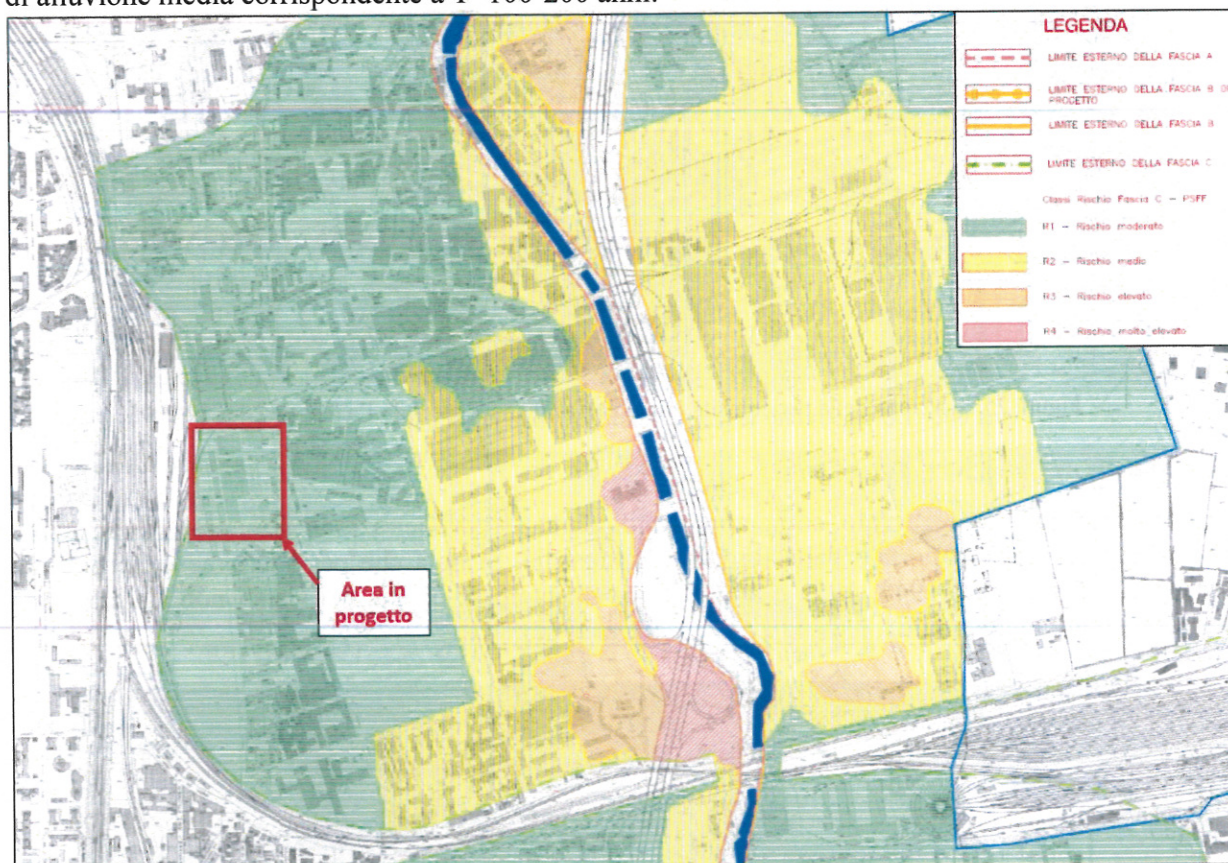


Figura 27. Studio idraulico del Comune di Milano (Politecnico di Milano 2004)

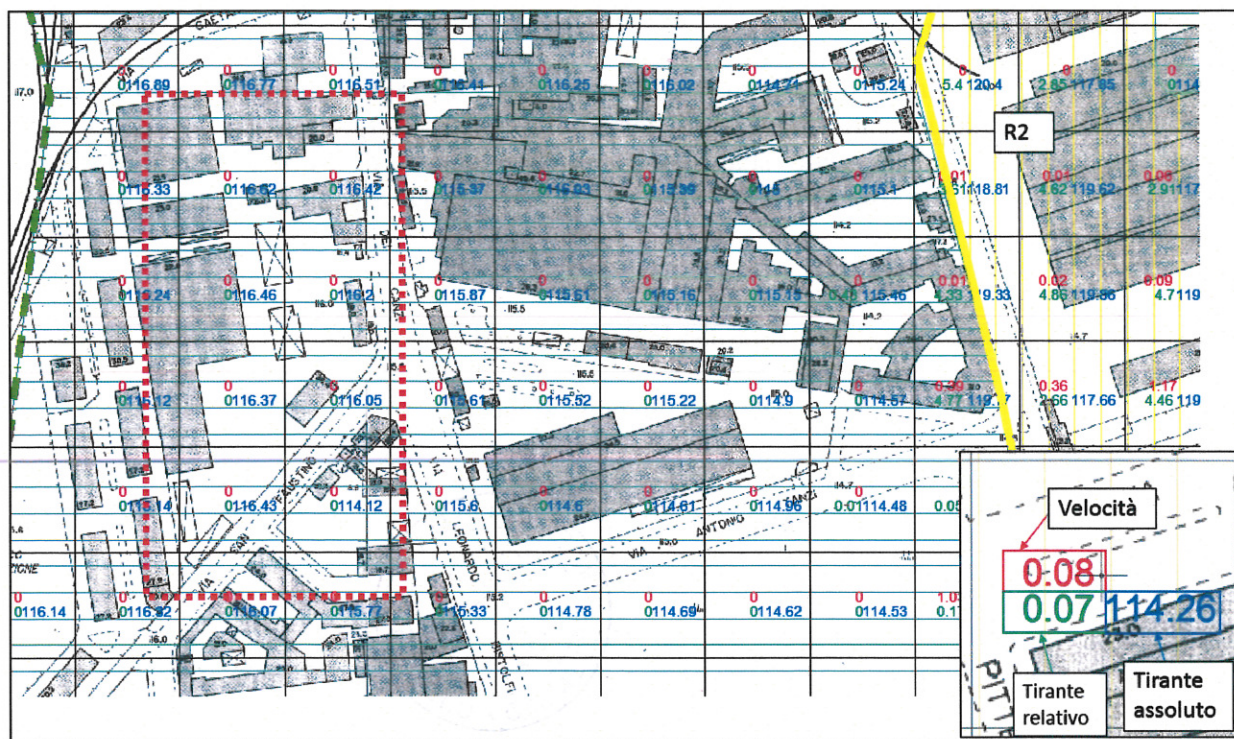


Figura 28. Tiranti-Velocità nello studio del Comune di Milano. In rosso l'area in progetto.

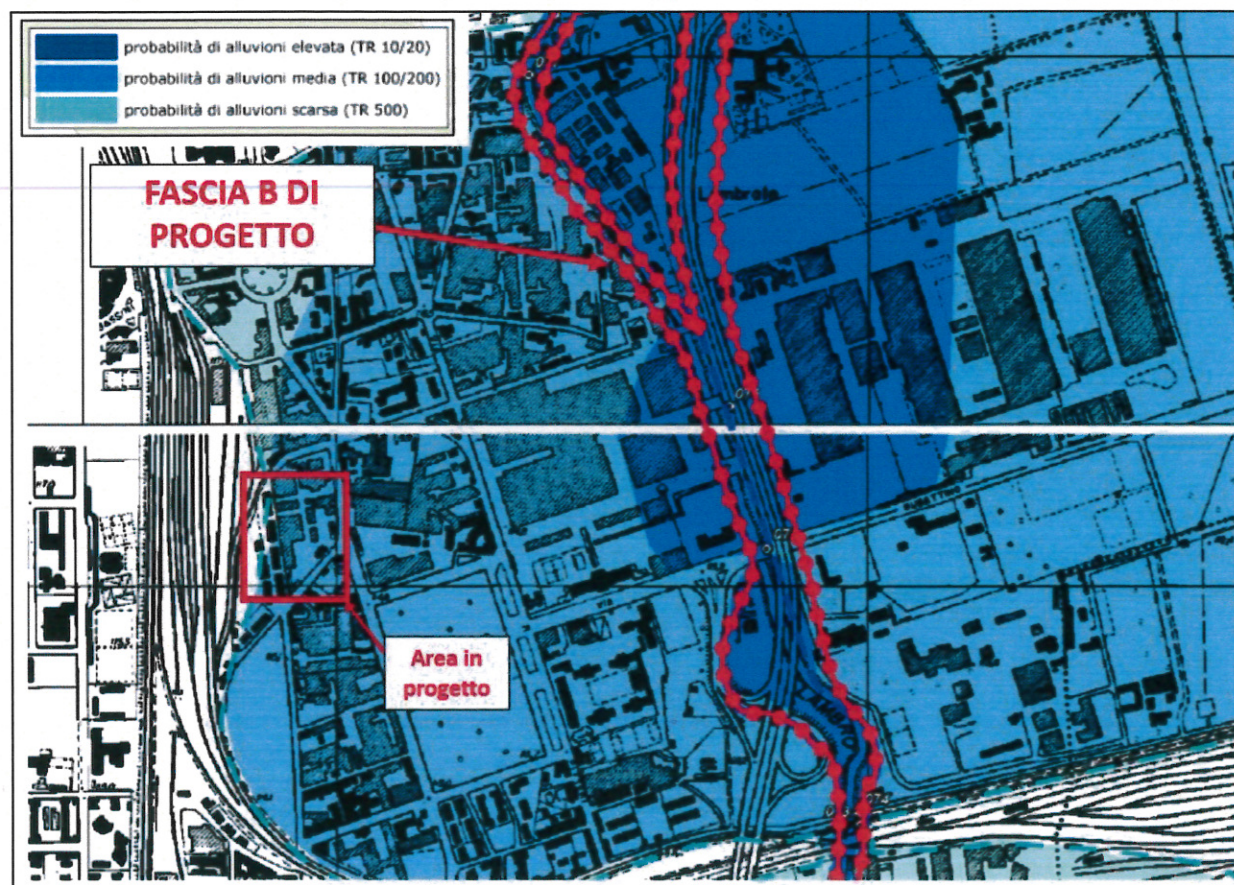


Figura 29. Studio dell'Autorità di Bacino 2007/60/CE con indicazione della fascia B di progetto (2003)

8 CONCLUSIONI

Gli studi di maggior dettaglio qui effettuati mostrano come l'area oggetto del piano attuativo non risulti interessata da allagamenti per eventi con tempo di ritorno di 200 e 500 anni.

Il risultato conferma quello dello studio adottato dal Comune di Milano mentre differisce dall'aggiornamento cartografico del 2015 direttiva 2007/60/CE pubblicato dall'Autorità di Bacino del Po.

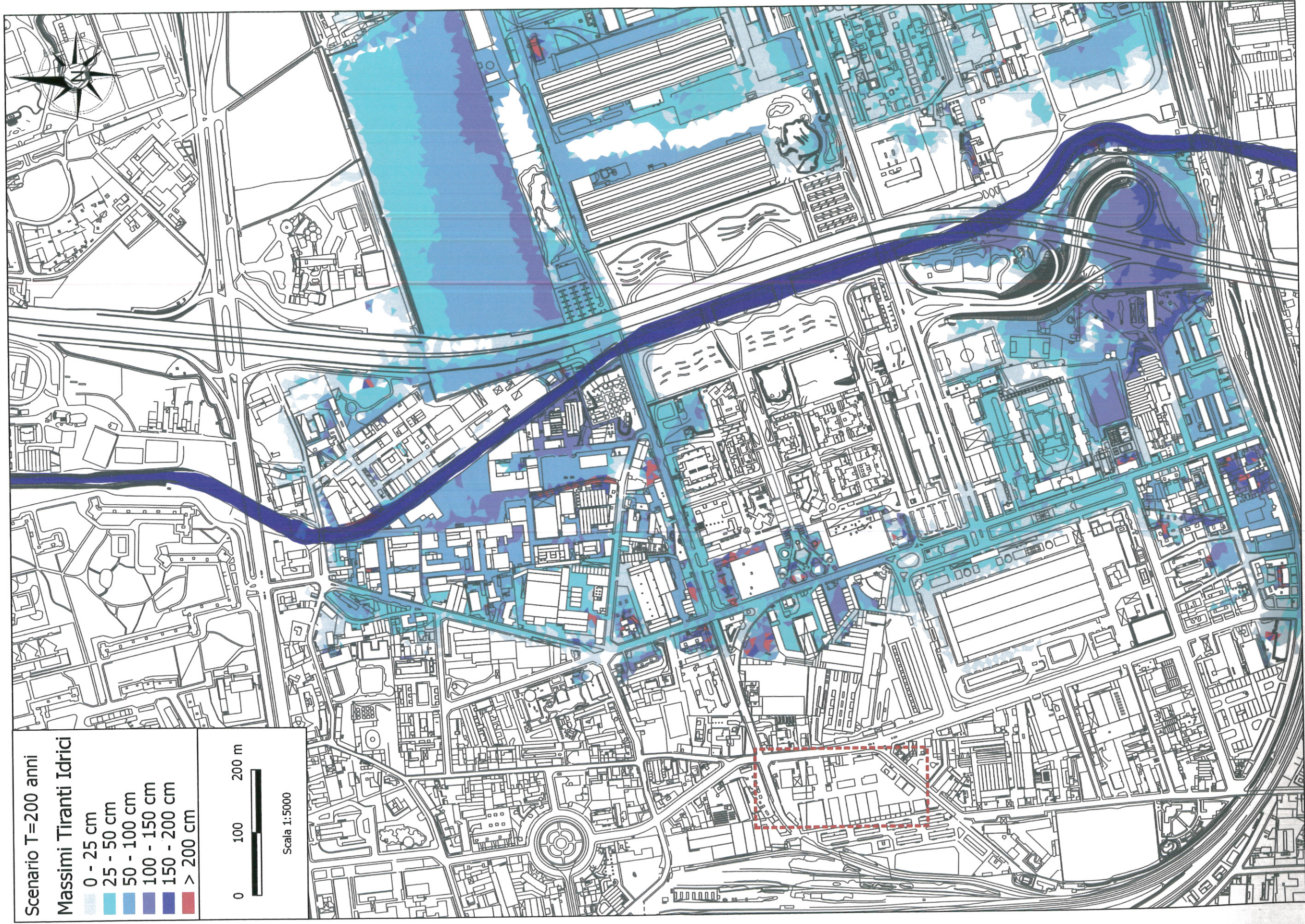
Milano aprile 2016

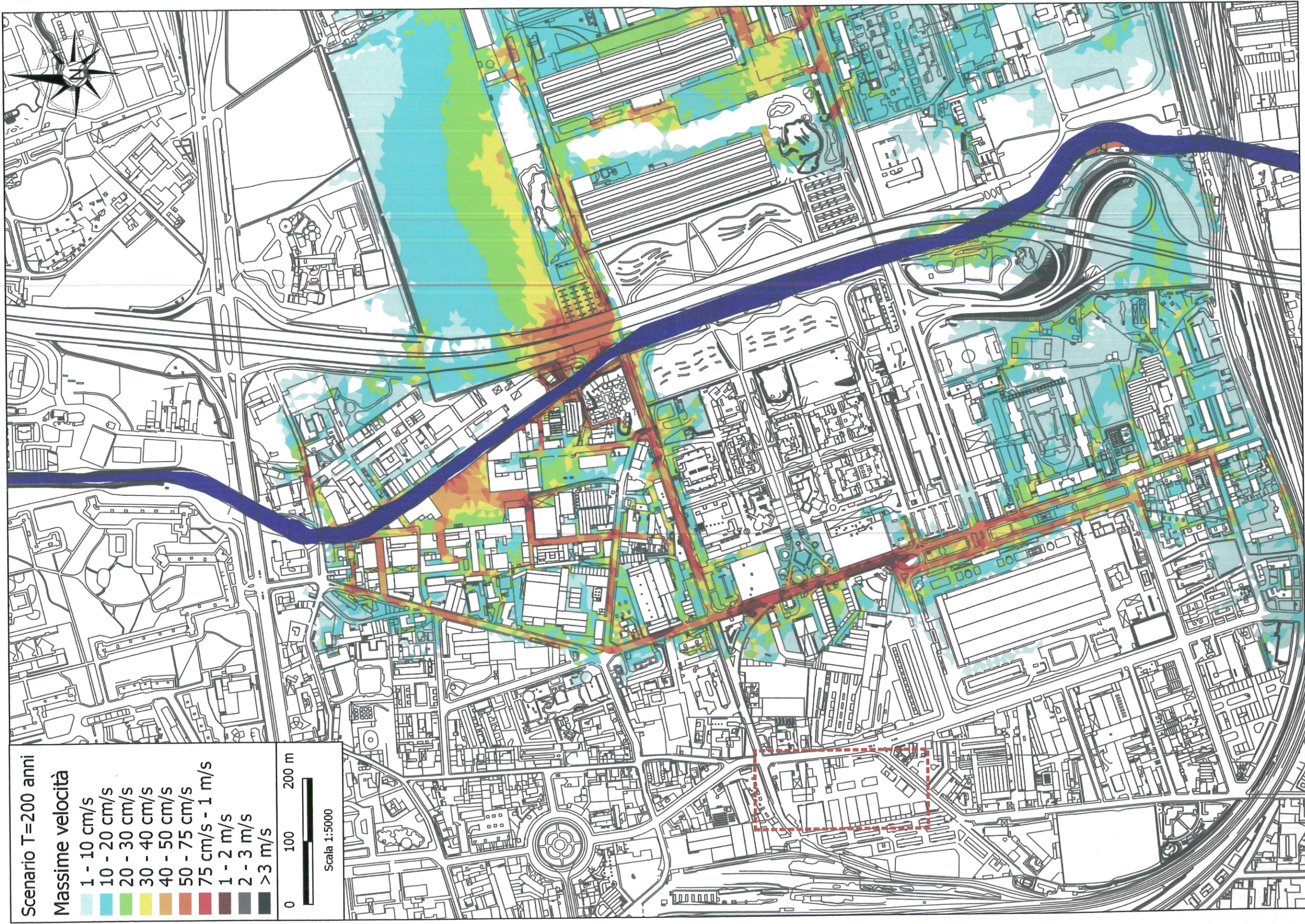
I professionisti incaricati

Dott ing. Stefania Meucci



**9 ALLEGATI: PLANIMETRIE TIRANTI VELOCITÀ E PERICOLOSITÀ
PER T =200 E 500 ANNI**



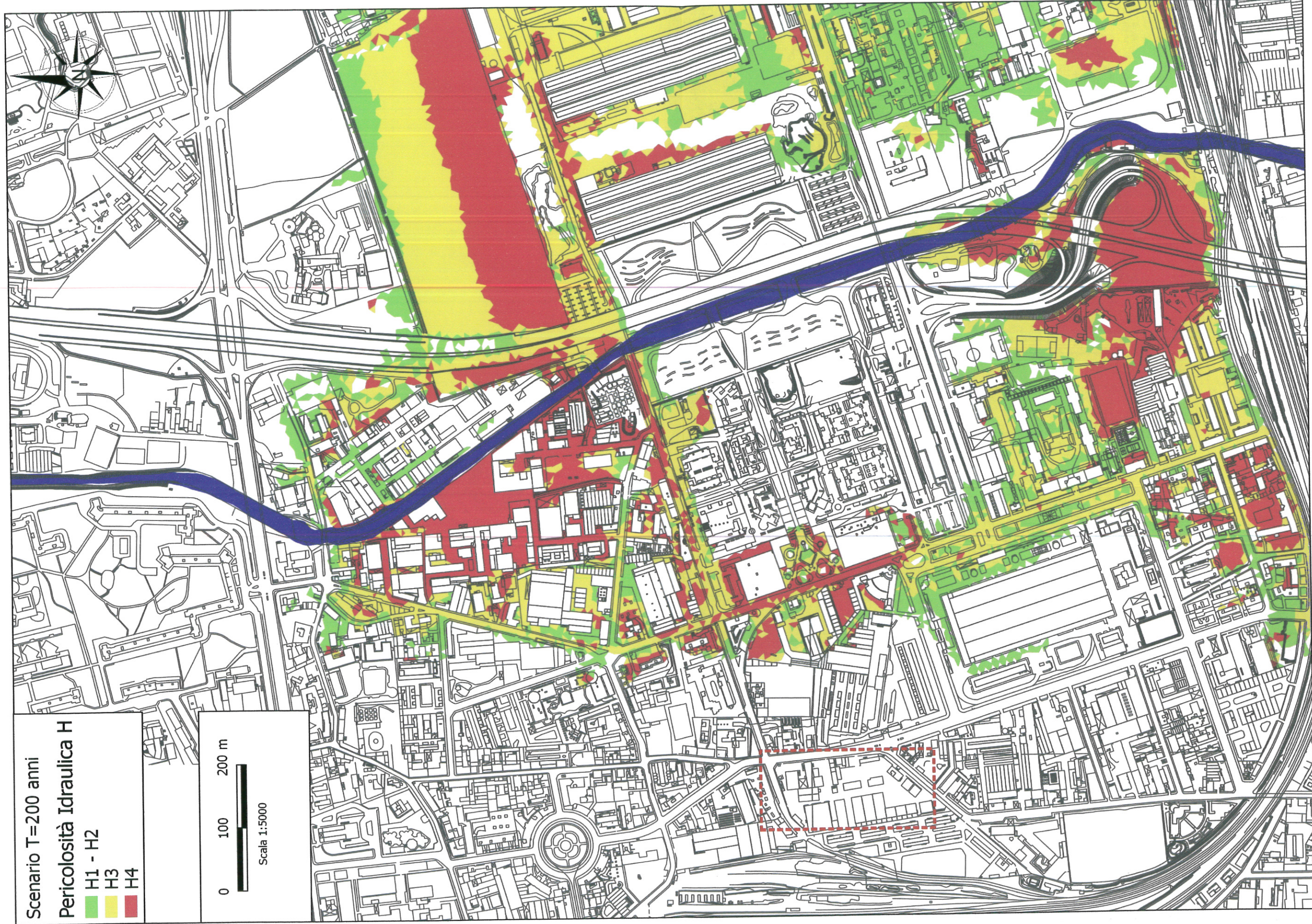


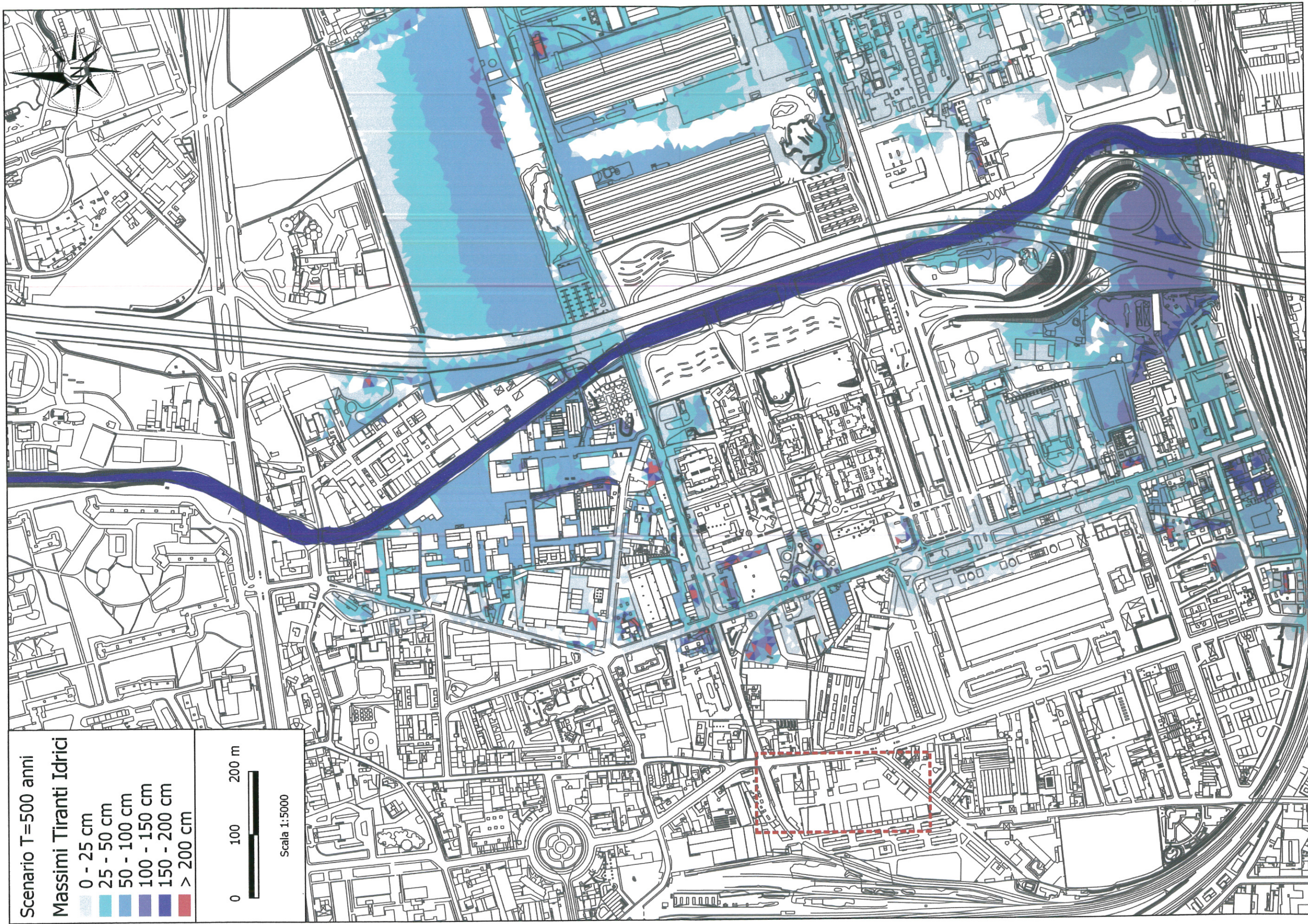
Scenario T=200 anni
Pericolosità Idraulica H

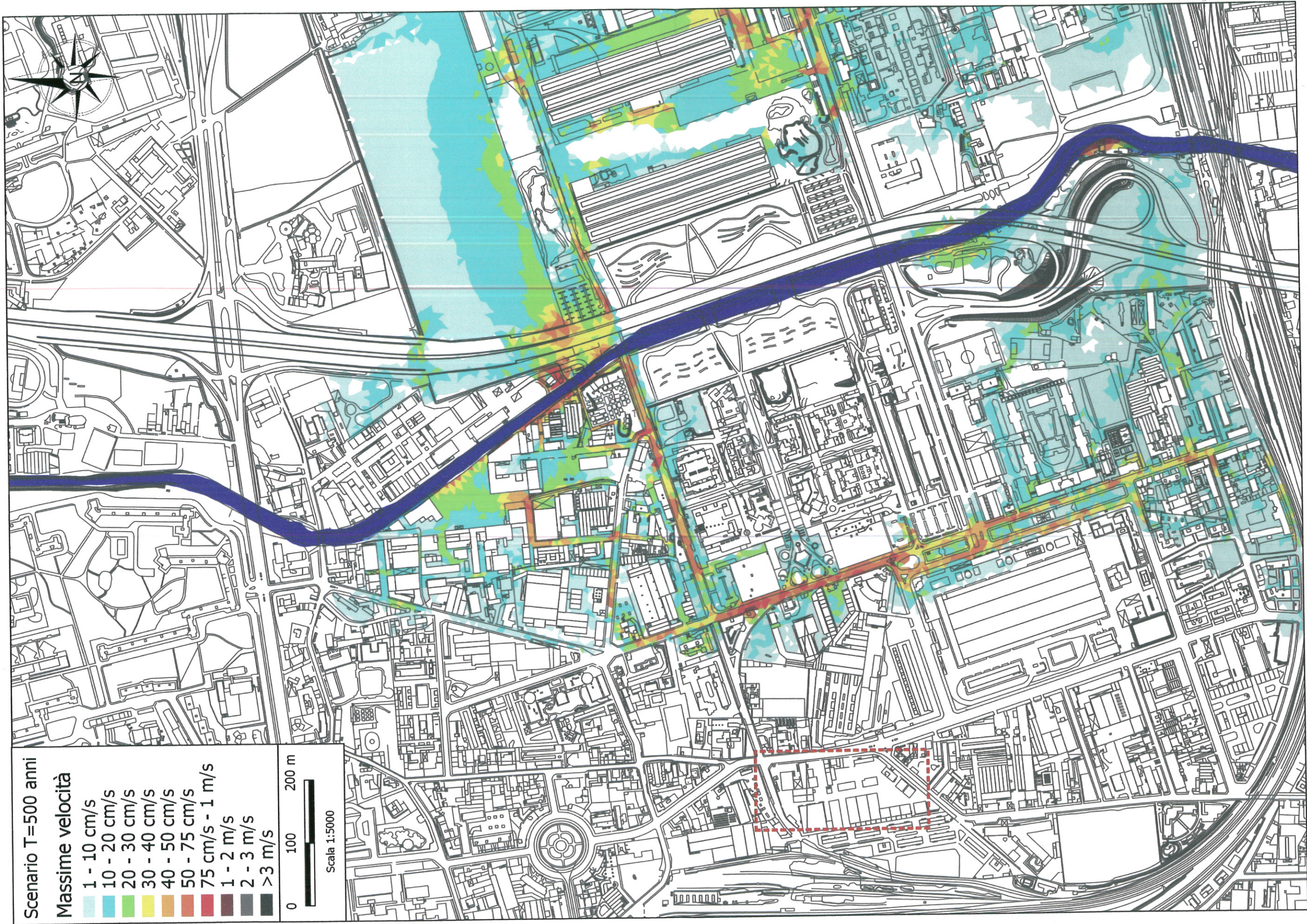
■	H1 - H2
■	H3
■	H4

0 100 200 m

Scala 1:5000







Scenario T=500 anni
Pericolosità Idraulica H

■	H1 - H2
■	H3
■	H4

0 100 200 m

Scala 1:5000

