

# AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO

Comune di Lentate sul Seveso (MB)

PROGETTO ESECUTIVO - MB-E-2

GENNAIO 2020



## RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. MARCO LA VEGLIA

## PROGETTAZIONE:

### PROFESSIONISTI INCARICATI:

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI

Dott. Ing. STEFANO CROCI

Dott. Ing. FILIPPO MALINGEGNO

Dott. Ing. CRISTINA PASSONI

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI

Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

Dott. Ing. GIOVANNI CANETTA

Dott. Ing. BRUNO BECCI

Dott. Ing. GIANLUCA PITTELLI

## CONSULENZE SPECIALISTICHE:

### IMPIANTI ELETTRICI:

Ing. FEDERICO REPOSSI

Ing. MARCO GILARDONI

### ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR

Arch. SHIRLY MANTIN

Dott. Agr. VALERIO BOZZOLI PARASACCHI



ETATEC STUDIO PAOLETTI S.r.l. - SOCIETA' DI INGEGNERIA

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax +39 02 26681553  
etatec@etatec.it - etatec@pec.etatec.it - www.etatec.it

## STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553  
Studiopaoletti@etatec.it - Studiopaoletti@pec.etatec.it

## Studio Associato di Geologia Spada

Via Donizetti 17 24020 Ranica (BG)

tel: +39 035 516090 - +39 035 513738



## CEAS s.r.l.

Viale Giustiniano, 10 - 20129 Milano

tel: +39 02 2020221 - fax: +39 02 29512533

E-mail: CEAS@FINZI-CEAS.IT - www.ceas.it



## MCE s.r.l.

Via Bassini, 53 - 20133 Milano

tel: +39 02 70608880 - E-mail: info@mce-milano.com

www.mce-milano.com



## LAND Italia srl

Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.37

www.landsrl.com



## TITOLO

STUDIO IDRAULICO CONSEGUENTE AL COLLASSO ARGINALE  
PERIMETRAZIONE AREE ALLAGAMENTO

Revisioni	1	RECEPIMENTO DELLE OSSERVAZIONI DEI VALIDATORI	MARZO 2020
	2		
Numero elaborato	TIPOLOGIA <b>PE</b>	COMMESSA <b>250-35</b>	DOCUMENTO <b>ATTI</b>
			NUMERO <b>A.12.1</b>

## INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO .....	2
2.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	2
2.1.1	Opera di presa .....	4
2.1.2	Canale di alimentazione dell'invaso .....	9
2.1.3	Sfioratore di emergenza .....	12
2.1.4	Sistema di scarico dei volumi invasati.....	13
2.2	CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO A MONTE DELLA PARATOIA DI REGOLAZIONE...	17
3.	AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE .....	20
3.1	DESCRIZIONE DELL'OPERA .....	20
3.2	CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA AL COLLASSO .....	22
3.2.1	Ipotesi di cedimento.....	23
3.2.2	Condizioni idrauliche alla rottura .....	23
3.2.3	Metodi di valutazione delle portate uscenti attraverso la breccia .....	24
3.3	MAPPATURA ALLAGAMENTI.....	30

## 1. PREMESSA

In ottemperanza ai dettami contenuti nella legge regionale 23 marzo 1998, n. 8, *“Norme in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale”* e nel documento *“Direttive per l’applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale”*, che disciplina le modalità di progettazione e calcolo dell’opera, viene di seguito riportato lo studio riportante le valutazioni inerenti l’ipotetico collasso dello sbarramento e l’individuazione delle aree soggette ad allagamento ai fini della protezione civile.

Il suddetto studio viene condotto solo con riferimento all’area di laminazione golenale, in quanto il volume di invaso, ossia *“la capacità del serbatoio compresa fra la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi, o della sommità delle eventuali paratoie (quota di massima regolazione), e la quota del punto più depresso del paramento di monte, da individuare sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna”* (Circolare P.C.M. 22806/95, lettera F)”, è pari a 20'000 m<sup>3</sup> (coincide con il volume di laminazione).

Con riferimento all’area di laminazione in scavo, invece, lo studio dell’ipotetico collasso dell’arginatura perimetrale non è stato effettuato, in quanto il volume di invaso, secondo quanto sopra stabilito, è nullo; infatti *“la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi”* è pari a 220.8 m s.m. e *“la quota del punto più depresso del paramento di monte, da individuare sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna”* è pari a 221 m s.m..

Sempre con riferimento all’area di laminazione in scavo, si ha che il volume di invaso sotteso dal manufatto di regolazione in alveo (paratoia di regolazione) è pari a circa 2'000 m<sup>3</sup>; essendo inferiore a 5'000 m<sup>3</sup>, non è stata effettuata la verifica al collasso.

## 2. AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO

### 2.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

L'area di laminazione principale in Comune di Lentate sul Seveso è un opera di invaso delle piene del torrente Seveso realizzata in scavo (il fondo è a circa 19.0 m dall'attuale piano campagna).

L'area interessata dalla realizzazione di tale opera, ad attuale utilizzo agricolo e posta interamente all'interno del Comune di Lentate sul Seveso, è posta in sinistra idraulica del torrente Seveso. Tra l'alveo del Seveso e l'area di ubicazione dell'invaso è presente la linea ferroviaria Milano – Como-Chiasso, la quale deve essere attraversata tramite tecnica in spingitubo sia dal canale di alimentazione, sia dalla condotta di scarico.

Vengono di seguito riportati, in forma schematica, i principali dati peculiari dell'invaso in oggetto, le cui caratteristiche sono descritte e rappresentate nelle relazioni e nelle tavole grafiche allegate al presente progetto preliminare.

- **Volume di invaso:** *808'000 m<sup>3</sup>*, alla quota di massima regolazione di 220,80 m s.m.;
- **Quota di fondo** degli invasi di laminazione: *201.80 m s.m.*;
- Quota più elevata delle soglie sfioranti: 220.80 m s.m.;
- **Quota di massima regolazione:** *220.80 m s.m.*;
- **Quota di massimo invaso** (assetto di progetto): *221,46 m s.m.*;
- **Quota di coronamento delle arginature perimetrali:** *223.50 m s.m.*;
- **Quota del punto più depresso del paramento di monte**, da individuare sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna: *221 m s.m.*;
- Superficie liquida alla quota di massima regolazione: 69'500 m<sup>2</sup>;
- Superficie liquida alla quota di massimo invaso: 71'000 m<sup>2</sup>;
- Superficie liquida alla quota di coronamento: 75'000 m<sup>2</sup>;
- Superficie di invaso alla quota di fondo: 11'900 m<sup>2</sup>;
- **Altezza dello sbarramento:** la differenza fra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti da individuare su una delle due linee di intersezione tra paramenti e piano di campagna:  $223.50 - 221.00 = 2.5 \text{ m}$ ;
- **Volume di invaso** (art. B.1 del D.M. 26/6/2014 e art. 3 della Direttiva DGR 05/03/2001 L.R. n.8/1998): la capacità del serbatoio compresa fra la quota più elevata delle soglie sfioranti degli scarichi (220.80 m s.m.), o della sommità delle eventuali paratoie (quota di massima

regolazione), e la quota del punto più depresso del paramento di monte, da individuare sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna (221.00 m s.m.) = 0 m<sup>3</sup>;

- **Volume totale di invaso** (art. B.1 del D.M. 26/6/2014): volume del serbatoio compreso tra la quota di massimo invaso (221.45 m s.m.) e quella del punto più depresso del paramento di monte (221.00 m s.m.):  $(221.45 - 221.00) \times (71'000 + 69'500) / 2 = \sim 31'600 \text{ m}^3$ ;
- **Volume complessivo di invaso** (art. 3 della Direttiva DGR 05/03/2001 L.R. n.8/1998): volume del serbatoio compreso tra la quota di coronamento (223.50 m s.m.) e quella del punto più depresso del paramento di monte (221.00 m s.m.):  $(223.50 - 221.00) \times (75'000 + 69'500) / 2 = \sim 181'000 \text{ m}^3$ ;
- Quota di fondo della stazione di sollevamento: 200.80 m s.m.;
- Quota di recapito delle portate laminate: 218.40 m s.m.;
- Corso d'acqua che alimenta l'invaso: Torrente Seveso;
- Ricettore finale delle acque laminate: Torrente Seveso;
- Portata al colmo sfiorata nell'invaso con riferimento ad un tempo di ritorno pari a 100 anni: 21 m<sup>3</sup>/s (assetto di progetto a monte), 34 m<sup>3</sup>/s (assetto attuale a monte);
- Portata massima del sistema di scarico: 4.6 m<sup>3</sup>/s;
- Portata media del sistema di scarico: 3.0 m<sup>3</sup>/s;
- Tempo di svuotamento dell'invaso: 75 ore (di cui 24 a gravità e 51 per sollevamento).
- Modalità di svuotamento dell'invaso: a gravità (110'000 m<sup>3</sup>, pari al 14% dell'invaso totale) e per pompaggio (698'000 m<sup>3</sup>, pari al 86% dell'invaso totale);
- Stazione di sollevamento: n. 4+1 elettropompe sommergibili, ciascuna con le seguenti caratteristiche:

○ Portata [l/s]:	1292	1056	900	600
○ Prevalenza [m]:	3.8	10.5	14.0	19.0
○ Rendimento minimo [%]:	39.3	75.1	80.9	71.7
○ Potenza installata [kW]:	170.00			
- Le inclinazioni delle sponde dell'invaso sono pari a 1:2 (h:b) da quota 223.50 m s.m. (quota di coronamento del sistema arginale) a quota 201.80 m s.m. (fondo invaso).

Per ottenere il suddetto volume di invaso occorre effettuare scavi per un volume complessivo di circa 920'000 m<sup>3</sup>, a cui sono da aggiungere ulteriori scavi, pari a circa 95'000 m<sup>3</sup>, per la posa dei teli impermeabili e per la posa di massi sul fondo. Parte di tali quantitativi di scavo, pari a circa 110'000 m<sup>3</sup>, verranno riutilizzati all'interno del cantiere per la formazione di arginature

perimetrali, per il ricoprimento del telo di impermeabilizzazione e per altre operazioni di rinterro.

Nella tabella successiva sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'opera di laminazione in progetto.

**Tabella 1 – Caratteristiche area di laminazione**

<b>Volume di invaso [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Quota di fondo [m s.m.]</b>	<b>Quota di massima regolazione [m s.m.]</b>	<b>Quota massima argini [m s.m.]</b>	<b>Superficie alla quota di massima regolazione [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Superficie alla quota di fondo vasca [m<sup>2</sup>]</b>
808'000	201.80	220.80	223.50	69'500	11'900

### **2.1.1 Opera di presa**

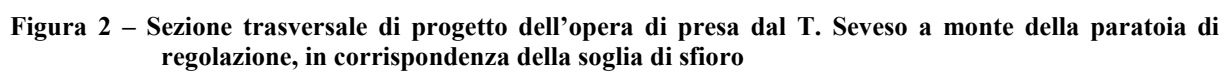
L'opera di laminazione in progetto viene alimentata dall'opera di presa posta sul torrente Seveso.

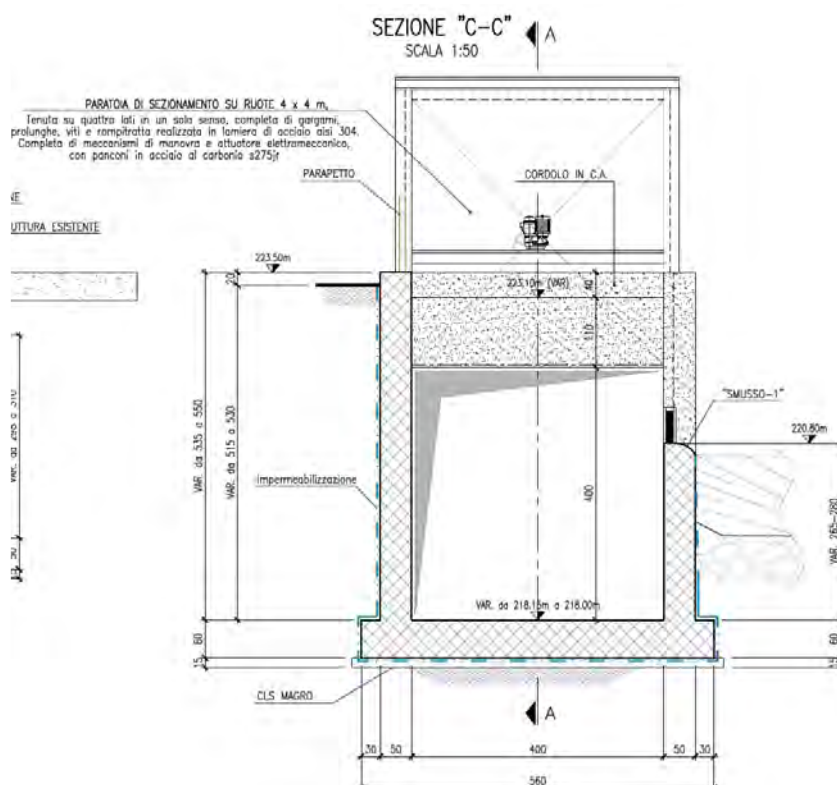
Questa è costituita da uno sfioratore laterale del tipo a stramazzo, composto da una soglia fissa in c.a. con il ciglio posto alla quota di 220.80 m s.m., avente una lunghezza pari a 15 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 219.50 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 1.3 m.

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale rettangolare chiuso di alimentazione dell'invaso di laminazione, posta a quota 218,30 m s.m..

Lungo il Seveso, dopo la soglia sfiorante è prevista la formazione di una sezione di controllo idraulico senza restringimenti laterali mediante l'interposizione di una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 6.5 x 3.0 m, finalizzata a creare un restringimento di sezione per limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente il sopracitato sfioratore laterale dell'opera di presa.







**Figura 3 – Sezione trasversale di progetto dell’opera di presa dal T. Seveso a valle della paratoia di regolazione, in corrispondenza della soglia di sfioro di emergenza**

In presenza della portata di piena di riferimento, la paratoia determina un funzionamento di bocca a battente regolato dalla conservazione dell’energia tra la sezione rigurgitata a monte della paratoia e la sezione contratta a valle della stessa. Il dimensionamento della luce della paratoia con la corrispondente sezione contratta e il dimensionamento dello sfioratore laterale sono stati condotti in modo tale da realizzare quanto prima indicato e cioè che, con riferimento ad una portata di piena centennale di progetto proveniente da monte pari a  $41 \text{ m}^3/\text{s}$ , la portata sfiorata verso l’invaso di laminazione sia pari a  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ , così da ridurre la portata verso valle a  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . In questo assetto l’altezza della luce di fondo sotto la paratoia deve essere pari a circa 0.8 m.

Attualmente non è ancora ipotizzabile l’ordine con le quali verranno realizzate le diverse opere di laminazione previste nello studio AIPO 2011 a protezione dalle inondazioni del torrente Seveso.

Per tale motivazione si è proceduto ad effettuare una verifica del funzionamento del sistema idraulico della vasca di Lentate sul Seveso considerando che questa sia la prima opera realizzata e che il torrente Seveso risulti analogo alla situazione attuale in tutte le altre sezioni a monte di essa.



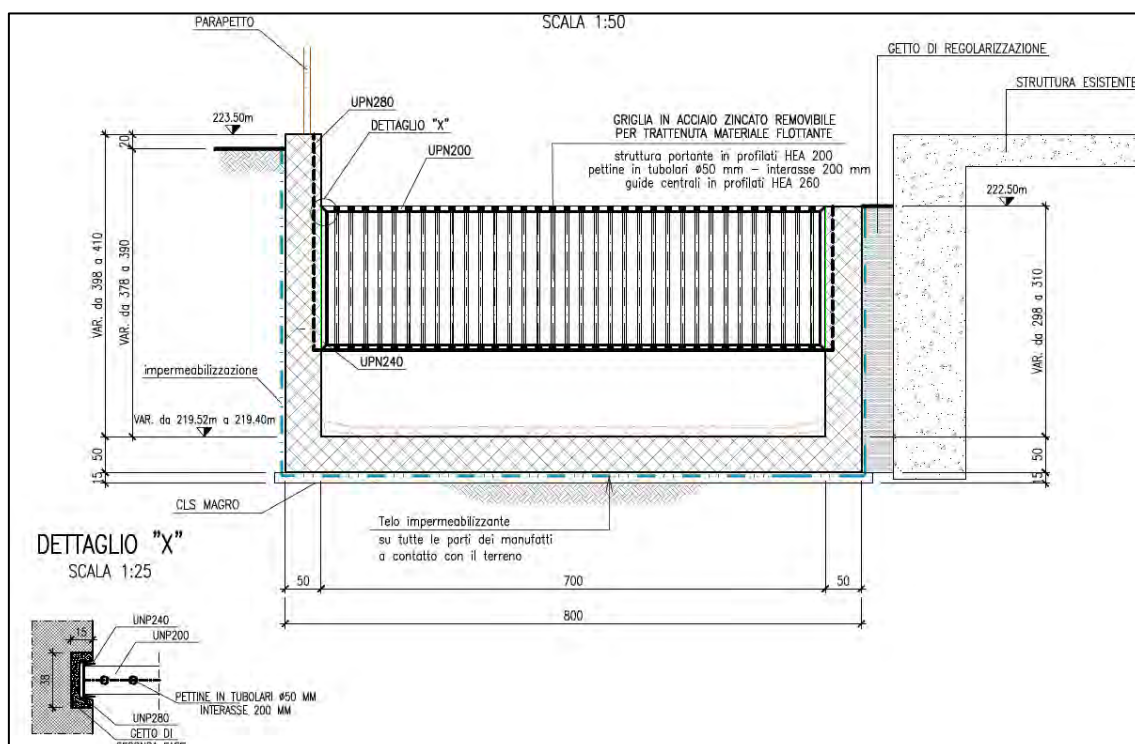
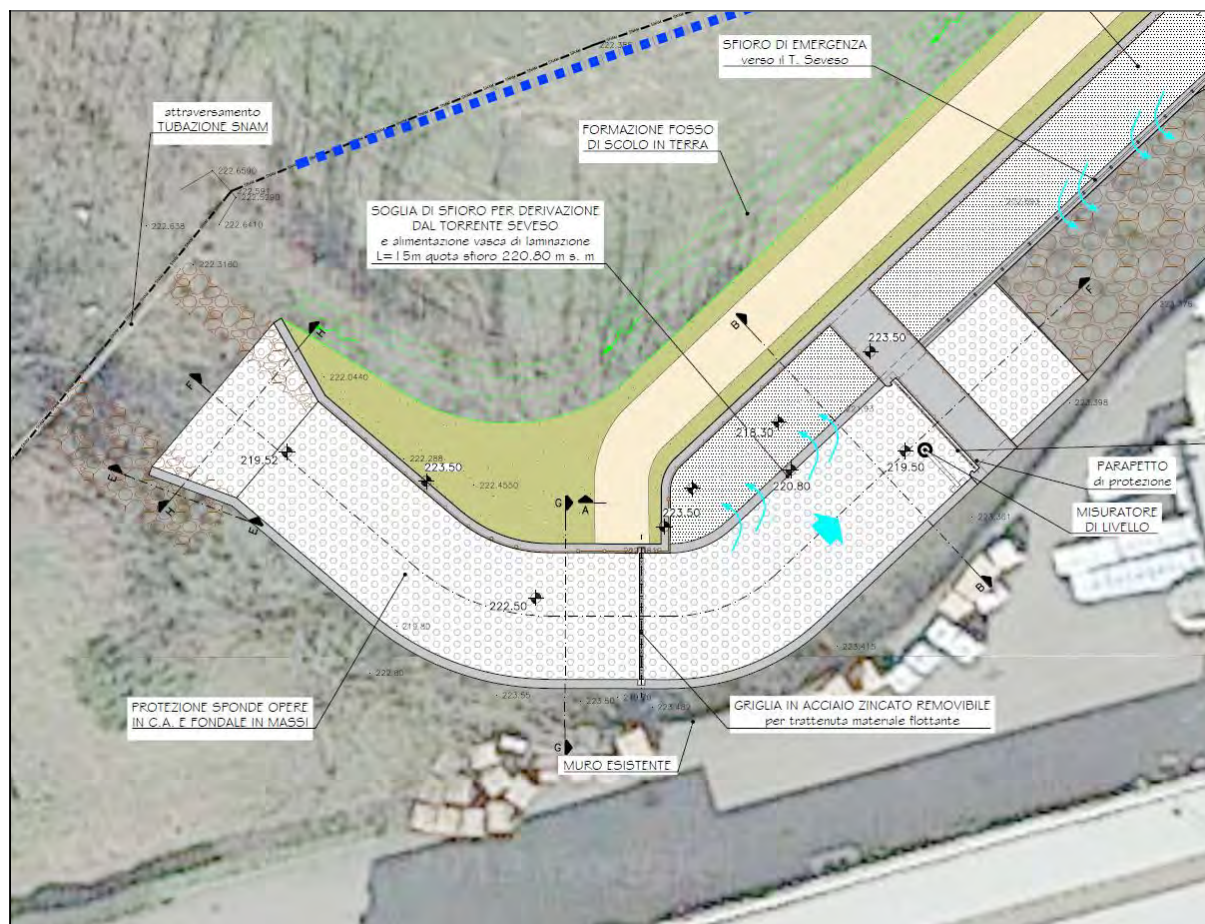
Anche in questo caso l'opera di presa è costituita da uno sfioratore laterale del tipo a stramazzo, composto da una soglia fissa in c.a. con il ciglio posto alla quota di 220.80 m s.m., avente una lunghezza pari a 15 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 219.50 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 1.3 m.

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale a sezione rettangolare, di larghezza pari a 4 m, per l'alimentazione dell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso.

Lungo il Seveso, dopo la soglia sfiorante è prevista la formazione di una sezione di controllo idraulico senza restringimenti laterali mediante l'interposizione di una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 6.5 x 3.0 m, finalizzata a creare un restringimento di sezione per limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente il sopracitato sfioratore laterale dell'opera di presa.

In presenza della portata di piena di riferimento, la paratoia determina un funzionamento di bocca a battente regolato dalla conservazione dell'energia tra la sezione rigurgitata a monte della paratoia e la sezione contratta a valle della stessa. Il dimensionamento della luce della paratoia con la corrispondente sezione contratta e il dimensionamento dello sfioratore laterale sono stati condotti in modo tale da realizzare quanto prima indicato e cioè che, con riferimento ad una portata di piena centennale nell'assetto attuale proveniente da monte pari a 78 m<sup>3</sup>/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 34 m<sup>3</sup>/s, così da ridurre la portata verso valle a 44 m<sup>3</sup>/s. In questo assetto l'altezza della luce di fondo sotto la paratoia deve essere pari a circa 1.5 m.

Appena a monte dell'opera di presa è prevista la posa di una griglia per trattenere il materiale flottante trasportato dalla corrente, in modo tale che non entri nell'invaso o non danneggi la paratoia di regolazione posta lungo il T. Seveso.



**Figura 4 – Planimetria dell'opera di presa con indicazione della griglia per il materiale flottante e sezione.**

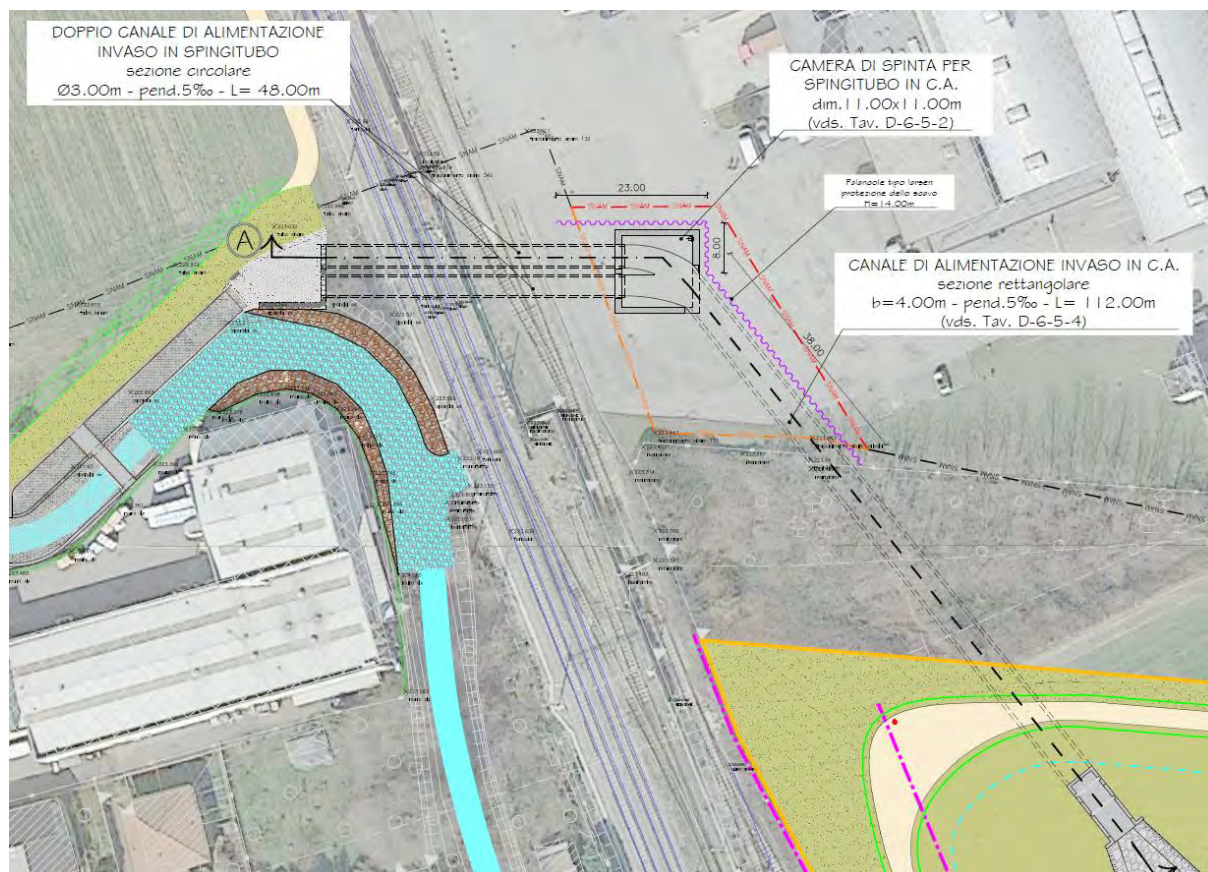


## 2.1.2 Canale di alimentazione dell'invaso

Le portate derivate dal Seveso vengono recapitate nell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso attraverso un canale completamente interrato che svolge anche la funzione di attraversamento della adiacente linea ferroviaria Chiasso-Milano.

Il canale ha una lunghezza di circa 175 m. La quota di fondo in corrispondenza della sezione iniziale (a valle dell'opera di presa del Seveso e appena a monte del sottopasso della linea ferroviaria) è pari a 218.00 m s.m., mentre la quota di fondo nella sezione terminale (ingresso nell'invaso) è pari a 217.20 m s.m.. La pendenza del canale è pari a circa il 5‰.

L'intero canale è previsto interrato, realizzato attraverso manufatti scatolari o gettati in opera, per consentire il sottopasso della linea ferroviaria Chiasso-Milano e non interferire con le attività svolte nei terreni privati attraversati.



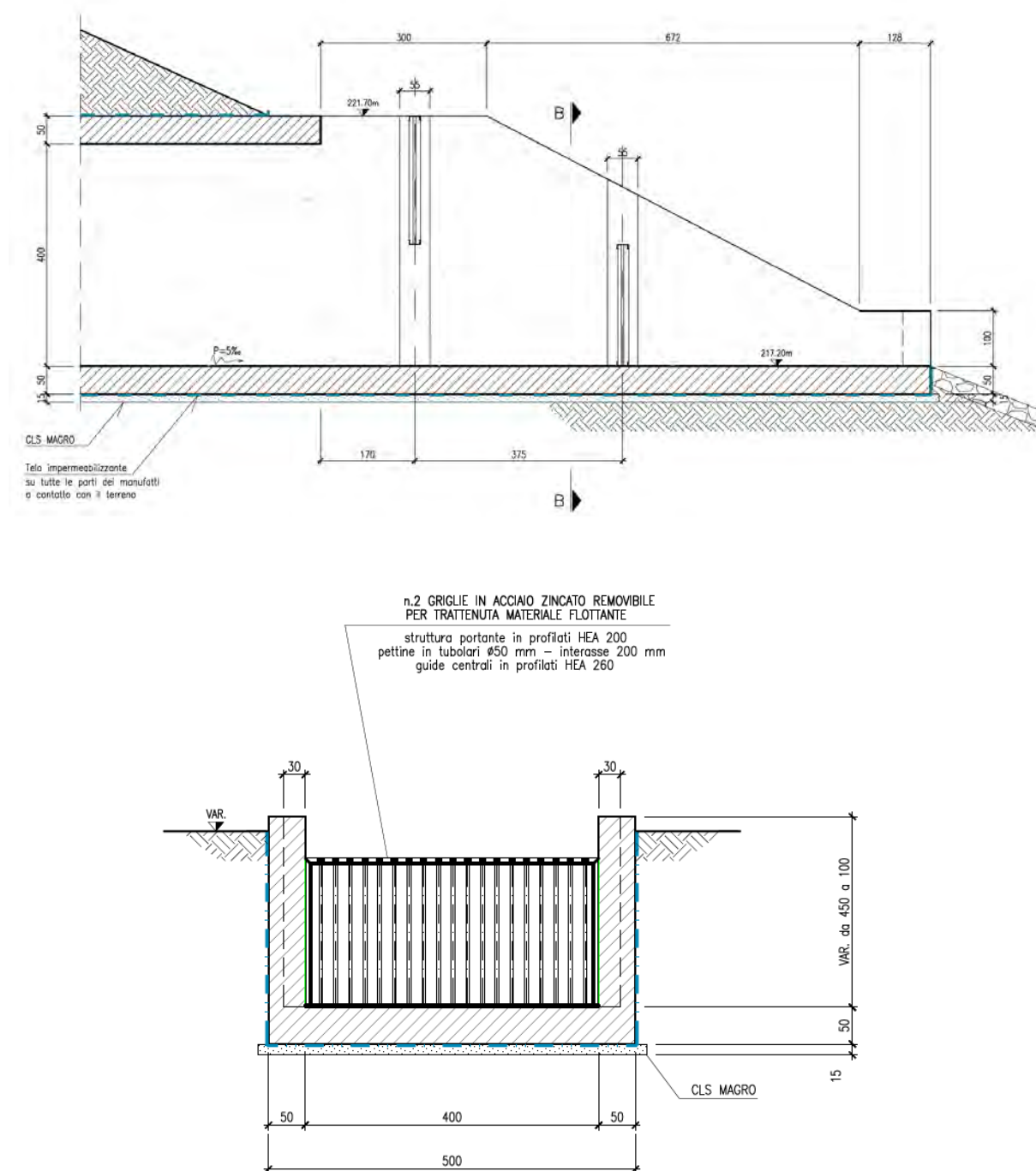
**Figura 5 – Planimetria di progetto del canale di alimentazione dell'invaso**

La sezione del canale è rettangolare, con base pari a 4.0 m ed altezza pari a circa 4.0 m, ad





Prima nell'ingresso nell'invaso, lungo il canale di alimentazione è prevista la realizzazione di una griglia per trattenere i materiali flottanti trasportati durante la piena dalla corrente del T. Seveso, come rappresentato nella figura sottostante.



**Figura 7 – Sezione longitudinale del tratto terminale del canale di alimentazione con indicazione della griglia per il materiale flottante**

### 2.1.3 Sfiatore di emergenza

Lungo il canale di alimentazione dell'invaso, appena a valle della soglia di sfioro dell'opera di presa dal T. Seveso, è prevista la realizzazione di una soglia di sfioro di emergenza, per recapitare in Seveso, a valle della paratoia di regolazione dell'opera di presa, le portate di eventi eccezionali che vengono derivate anche quando l'area di laminazione ha già raggiunto la quota di massima regolazione.

Lo sfioro di emergenza è costituito da una soglia laterale in c.a. del tipo a stramazzo, con il ciglio posto alla quota di 220.80 m s.m., avente una lunghezza pari a 30 m.

In corrispondenza dello sfioratore il canale di alimentazione è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 218.05 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo del canale è pari a 2.75 m.

La portata nella sezione terminale dello sfioro è nulla, in quanto si è supposto che l'invaso di laminazione sia già pieno e che si sia chiusa la paratoia di sezionamento posta lungo il canale di alimentazione (oppure il livello nell'invaso è pari al livello nel canale di alimentazione per effetto del funzionamento dello sfioratore di emergenza).

Qualora le opere di laminazione a monte di quella in oggetto non fossero ancora realizzate, occorre che lo sfioro di emergenza abbia una quota pari a 221.30 m s.m. (cfr. elaborato A.3.1 - relazione idrologico – idraulica).

Per rispettare entrambe le condizioni sopra esposte lo sfioro di emergenza verrà realizzato in c.a. fino alla quota definita nell'assetto di progetto, pari a 220.80 m s.m., e verranno posati dei panconi, con sommità fino alla quota 221.30 m s.m. qualora la vasca di laminazione di Lentate venga realizzata prima delle altre opere di laminazione previste a monte. Quanto sopra è rappresentato nella Figura 8.

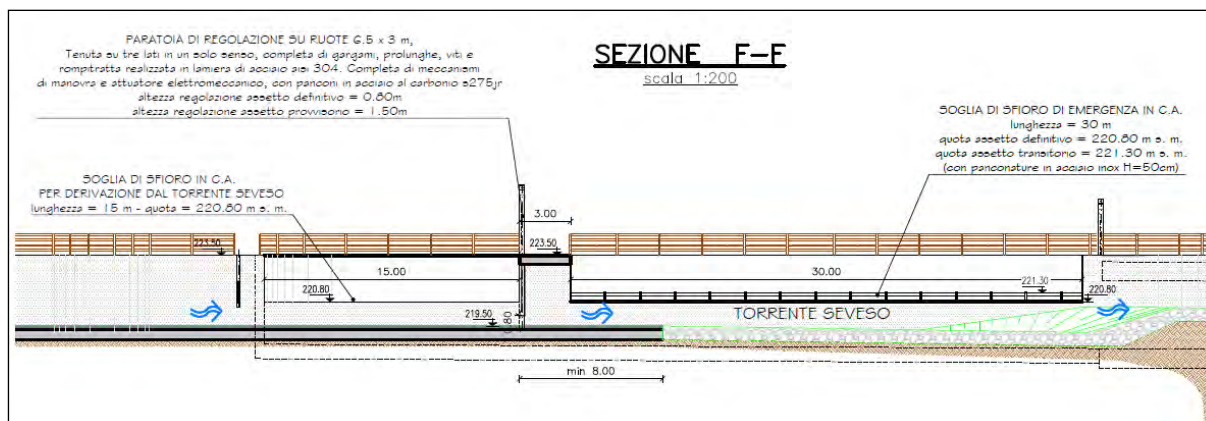


Figura 8 – Profilo longitudinale dell'opera di presa dal T. Seveso con riportato anche lo sfioro di emergenza

#### 2.1.4 Sistema di scarico dei volumi invasati

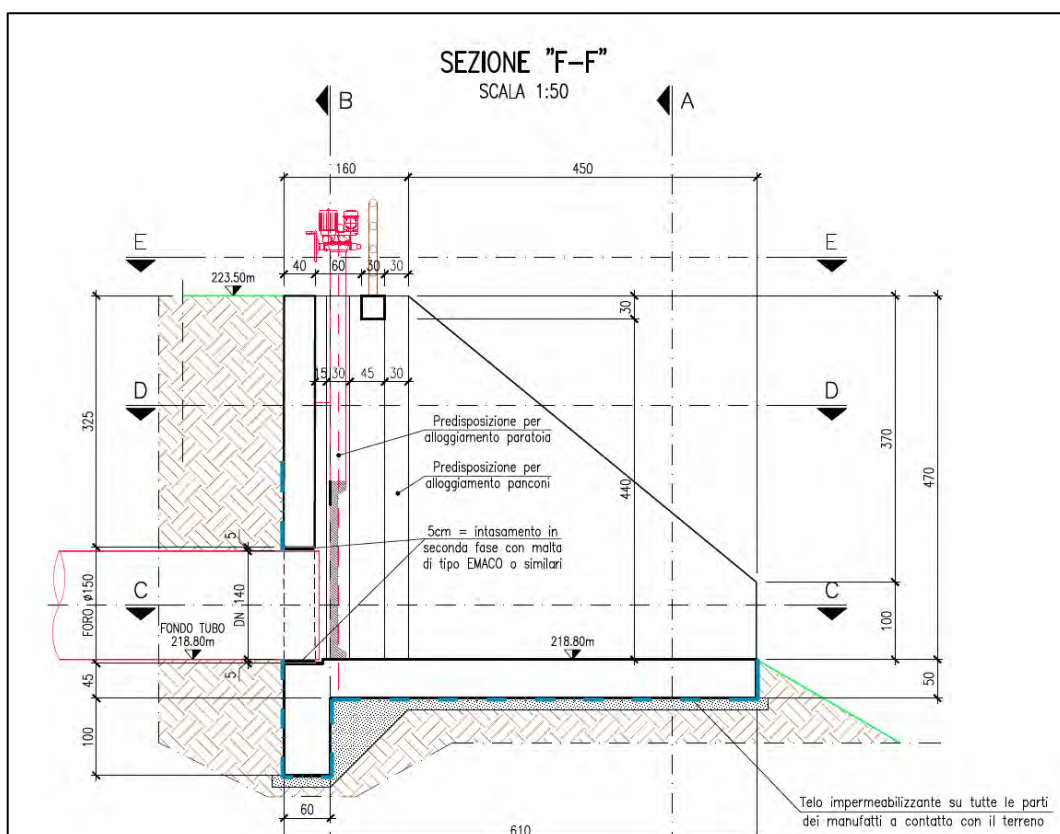
A causa della configurazione del piano campagna e delle quote relative all'alveo del torrente Seveso, la vasca di laminazione di Lentate sul Seveso è realizzata per la quasi totalità in scavo con fondo a quote fino a circa 19.0 m inferiori rispetto al piano campagna e 17 m rispetto a quelle dell'alveo del Seveso. Per tale motivazione, i volumi in essa invasati vengono scaricati al termine dell'evento di piena prevalentemente per sollevamento meccanico, mentre una parte più contenuta viene scaricata a gravità. In particolare, le modalità di scarico sono le seguenti:

- **Svuotamento a gravità**: viene effettuato per la porzione di volume di invaso compreso tra la quota di massima regolazione, pari a 220.80 m s.m., fino alla quota di fondo del manufatto di scarico a gravità, pari a 218.80 m s.m.; il volume invasato tra tali due quote è pari a circa 130'000 m<sup>3</sup>, che corrisponde al 16% del volume di invaso disponibile. In pratica, lo svuotamento a gravità avviene fino a quote pari a circa 219.10 m s.m., in quanto al di sotto di tale valore la portata defluente è troppo bassa e quindi aumentano notevolmente i tempi di svuotamento. Il volume corrispondente a tale livello è pari a circa 110'000 m<sup>3</sup>, che corrisponde al 14% del volume di invaso disponibile.

Lo scarico a gravità è previsto mediante una tubazione circolare in acciaio (è la stessa che viene utilizzata come tubazione di mandata delle pompe) di diametro 1400 mm, collegata all'invaso da un manufatto in c.a. di sezione 2,0 x 2,0 m con quota di scorrimento di 218,80 m s.m.. La quota di scorrimento della tubazione di scarico in corrispondenza dello scarico nel T. Seveso è pari a 218.60 m s.m., mentre la quota di fondo del T. Seveso è pari a 218.40 m s.m.. La tubazione di scarico è lunga 80 m, per cui la pendenza è pari a 2.5 per mille. Per evitare che le acque del T. Seveso possano rientrare nella tubazione di scarico, quest'ultima è munita di un clapet in acciaio inox. La tubazione di scarico, nel tratto in cui sottopassa la linea ferroviaria Milano – Como/Chiasso è posta all'interno di un tubo-camicia in acciaio di diametro 2 m, posto ad una quota tale per cui la quota di estradosso della condotta è 2 m al di sotto del piano del ferro della suddetta linea ferroviaria.

Tra il manufatto di imbocco dello scarico a gravità e la tubazione DN1400 è posta una paratoia a strisciamento di dimensioni 2x2 m, con tenuta sui 4 lati in entrambi i sensi. La paratoia è normalmente chiusa; quando si deve procedere allo svuotamento a gravità

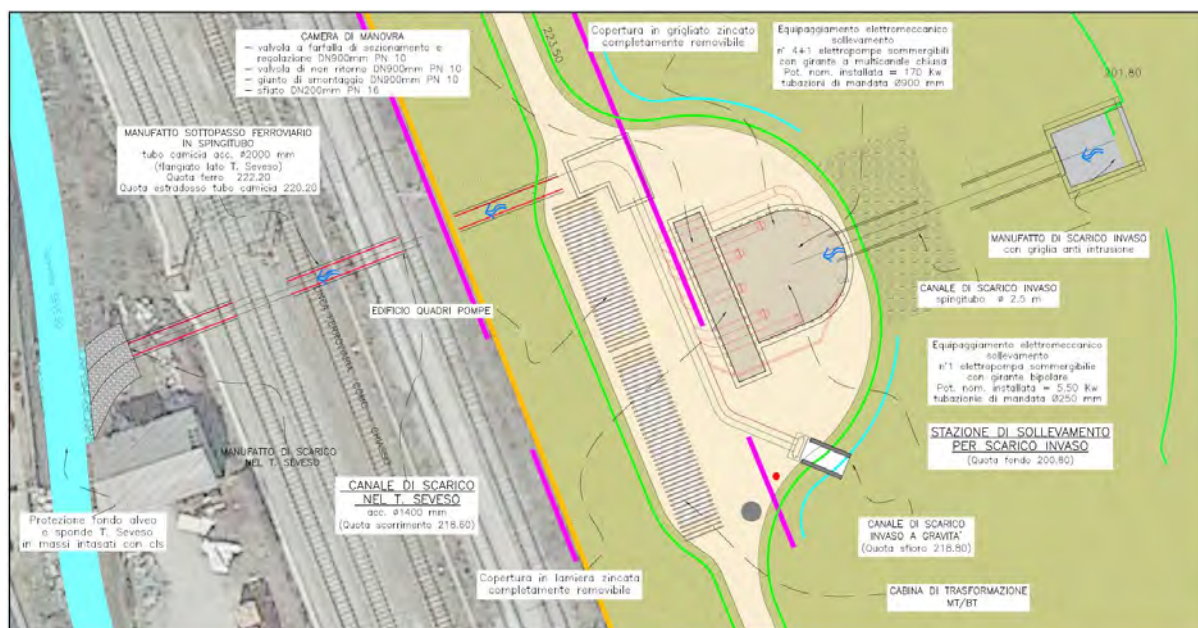
dell'invaso, la paratoia viene aperta. Non appena termina la fase di svuotamento a gravità e prima di azionare le pompe, occorre chiudere la paratoia per impedire che la portata immessa nella tubazione DN1400 dalle mandate DN800 delle singole pompe possa defluire nell'invaso attraverso il manufatto di imbocco dello scarico a gravità.



**Figura 9 – Sezione longitudinale del manufatto di imbocco dello scarico a gravità**

- **Svuotamento per sollevamento meccanico**: quando il livello idrico all'interno dell'invaso è prossimo a 218.80 m s.m. (in pratica, in base a quanto detto sopra il livello di riferimento è pari a 219.10 m s.m.), siccome la portata scaricata a gravità è praticamente nulla (livello nell'invaso prossimo al livello idrico nel T. Seveso), per proseguire con lo svuotamento dell'invaso vengono azionate le pompe poste sul fondo della stazione di sollevamento; l'uso delle elettropompe sommerse consente di svuotare la porzione di invaso di laminazione posta tra la quota 219.10 m s.m. e il fondo, pari a 201.80 m s.m.. Il volume che deve essere per sollevamento è pari a circa 698'000 m<sup>3</sup> (86% del volume di invaso totale).





**Figura 10 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso con indicazione del sollevamento meccanico e delle opere di scarico**

La stazione di sollevamento verrà realizzata lungo il lato occidentale della vasca di laminazione ove il torrente Seveso scorre a poche decine di metri dal limite della vasca. Il fondo del sollevamento è stato posto alla quota di 200.80 m s.m. in modo da risultare di 1.0 m inferiore alla quota di massimo scavo della vasca e poter così allontanare la totalità dei volumi invasati ma limitando comunque il massimo battente sull'aspirazione delle pompe sommerse a 20.0 m, valore oltre il quale si potrebbero presentare problematiche nel loro funzionamento.

Si è scelto quindi di installare n.5 pompe (delle quali una con funzione di riserva).

Le pompe di sollevamento (elettropompa sommergibile centrifuga) previste in progetto sono 4+1 e hanno le seguenti caratteristiche tecniche principali

DP (ISO9906 Cl.1B) a giri variabili:

○ Portata [l/s]:	1292	1056	900	600
○ Prevalenza [m]:	3.8	10.5	14.0	19.0
○ Rendimento minimo [%]:	39.3	75.1	80.9	71.7
○ Potenza installata [kW]:	170.00			

A ciascuna pompa è collegata una tubazione di mandata DN900 mm, che si collega alla

tubazione DN1400, che dopo aver sottopassato la linea ferroviaria giunge in corrispondenza del T. Seveso.

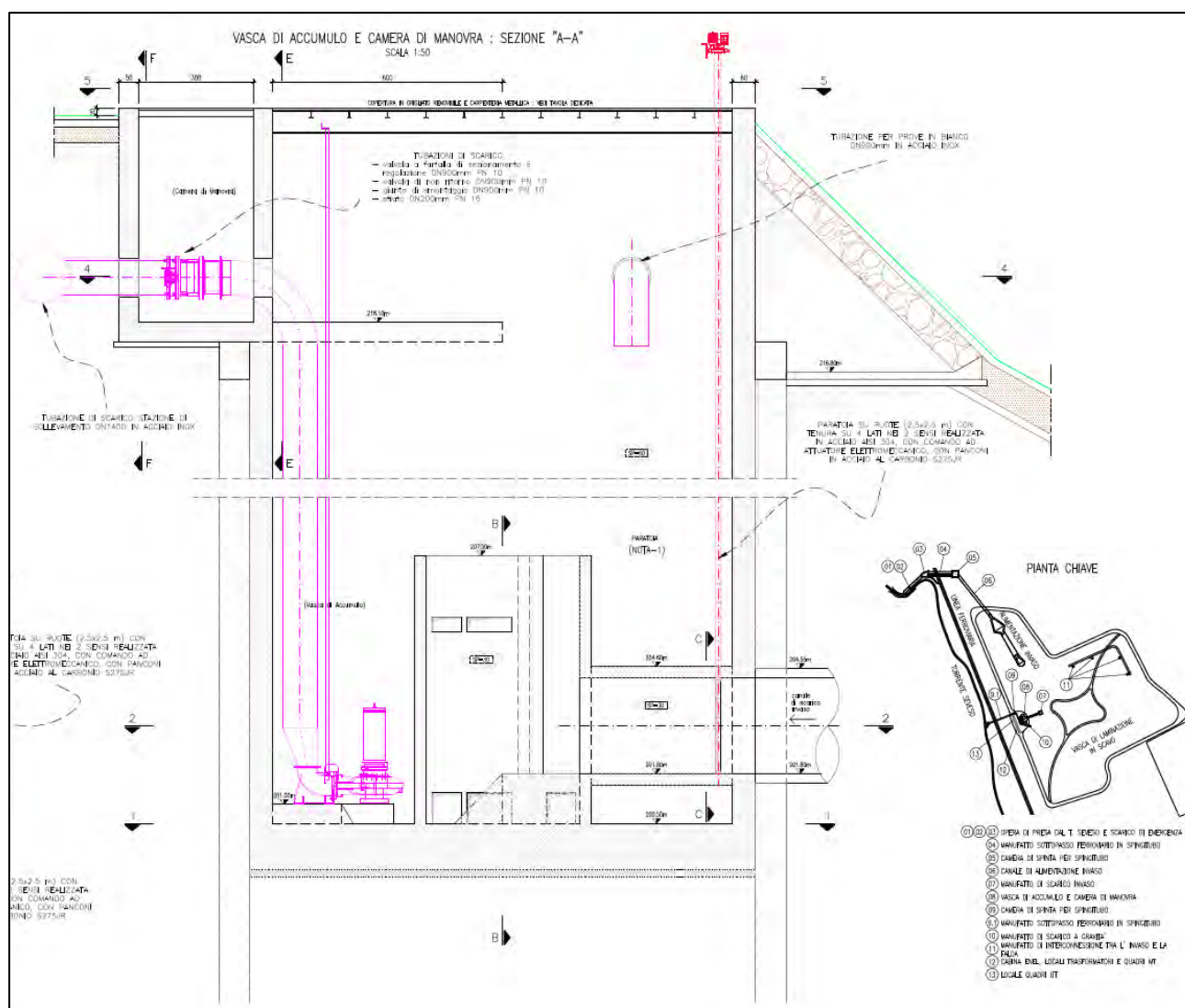


Figura 11 – Sezione verticale stazione di sollevamento

L'attraversamento della linea ferroviaria verrà realizzato attraverso uno spingitubo al fine di non interferire in alcun modo con il normale traffico ferroviario. Inoltre lo spingitubo verrà effettuato su di una tubazione DN2000 in acciaio a perdere che svolgerà la funzione di tubo-camicia per la reale tubazione di mandata.

L'intero attraversamento rispetta le prescrizioni della normativa di riferimento per gli attraversamenti di linee ferroviarie con tubazioni trasportanti liquidi o gas, garantendo lungo tutto il suo sviluppo una distanza verticale minima tra estradosso superiore del tubo-camicia e

piano del ferro di 2.0 m.

Nelle immediate vicinanze della stazione di sollevamento e completamente fuori terra verranno realizzati un edificio contenente i quadri elettrici di controllo delle pompe e una cabina di trasformazione MT/BT.

## **2.2 CALCOLO DEL VOLUME DI INVASO A MONTE DELLA PARATOIA DI REGOLAZIONE**

Nel precedente paragrafo 2.1.1 è stata descritta l'opera di presa.

Per la stima del volume di invaso è stata applicata la seguente procedura:

- determinazione del volume idrico  $V_1$  lungo il T. Seveso a monte della paratoia, associato al funzionamento dell'opera di presa secondo quanto previsto in progetto;
- determinazione del volume idrico  $V_2$  lungo il T. Seveso a monte della paratoia, ma in assenza della stessa, considerando il suo ipotetico collasso;
- determinazione del volume di invaso per effetto del rigurgito indotto dalla paratoia, attraverso il calcolo della differenza  $V_1 - V_2$ .

Di seguito si riportano i calcoli effettuati.

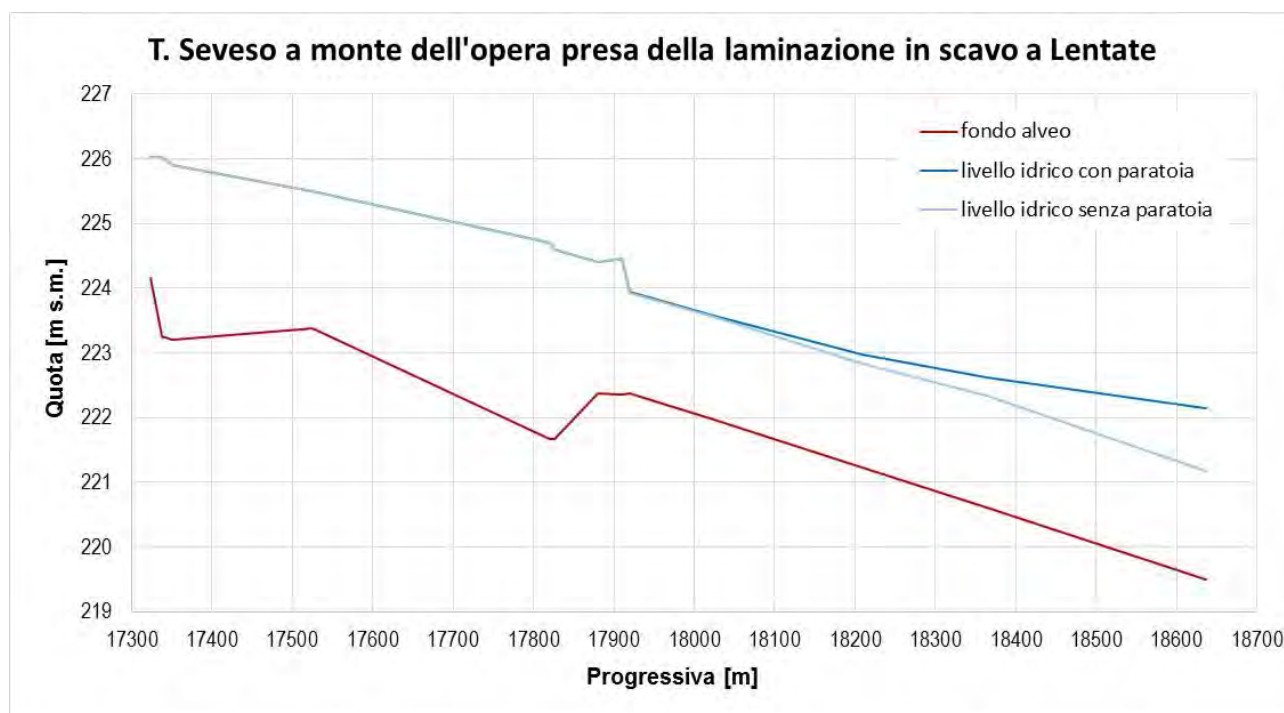
**Tabella 2 – Calcolo volume idrico con paratoia (V<sub>1</sub>)**

<i><b>Progressiva [m]</b></i>	<i><b>distanza tra sezioni [m]</b></i>	<i><b>livello idrico [m s.m.]</b></i>	<i><b>area sezione bagnata [mq]</b></i>	<i><b>volume idrico [mc]</b></i>
17324		226.03	14.63	
17338.1	14.1	226.03	15.69	213.8
17350.6	12.5	225.91	15.27	193.5
17525.2	174.6	225.49	12.42	2417.3
17820.5	295.3	224.71	18.12	4509.2
17826.5	6	224.59	17.24	106.1
17880.4	53.9	224.41	10.35	743.6
17910	29.6	224.46	23.89	506.8
17920	10	223.94	16.77	203.3
18025.2	105.2	223.58	14.06	1621.7
18208.8	183.6	222.98	19.43	3074.4
18363.9	155.1	222.62	16.71	2802.7
18636	272.1	222.14	18.05	4729.1
				<b>21'121.30</b>

**Tabella 3 – Calcolo volume idrico senza paratoia (V<sub>2</sub>)**

<i><b>Progressiva [m]</b></i>	<i><b>distanza tra sezioni [m]</b></i>	<i><b>livello idrico [m s.m.]</b></i>	<i><b>area sezione bagnata [mq]</b></i>	<i><b>volume idrico [mc]</b></i>
17324		226.03	14.63	
17338.1	14.1	226.03	15.69	213.8
17350.6	12.5	225.91	15.27	193.5
17525.2	174.6	225.49	12.42	2417.3
17820.5	295.3	224.71	18.12	4509.2
17826.5	6	224.59	17.24	106.1
17880.4	53.9	224.41	10.35	743.6
17910	29.6	224.46	23.89	506.8
17920	10	223.92	16.57	202.3
18025.2	105.2	223.55	13.74	1594.3
18208.8	183.6	222.83	17.67	2883.4
18363.9	155.1	222.33	13.85	2444.4
18636	272.1	221.18	10.91	3368.6
				<b>19'183.22</b>





**Figura 12 – Profilo T. Seveso a monte della paratoia di regolazione dell'opera di laminazione in scavo**

Il volume d'invaso indotto dal rigurgito della paratoia è pari a  $V_1 - V_2 = 21'121 - 19'183 = 1'938 \text{ m}^3$ .

Quindi il volume di invaso risulta inferiore al limite di  $5'000 \text{ m}^3$  indicato nella normativa regionale (L. R. 23 marzo 1998, N. 8 “Norme in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale” e “D.G.R. 5/3/2001, N. 7/3699 “Direttive per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale”).

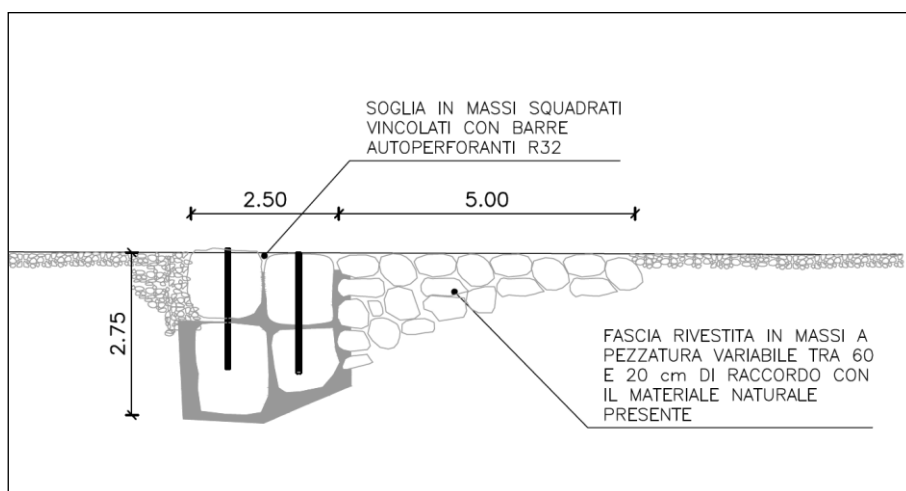
### 3. AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE

#### 3.1 DESCRIZIONE DELL'OPERA

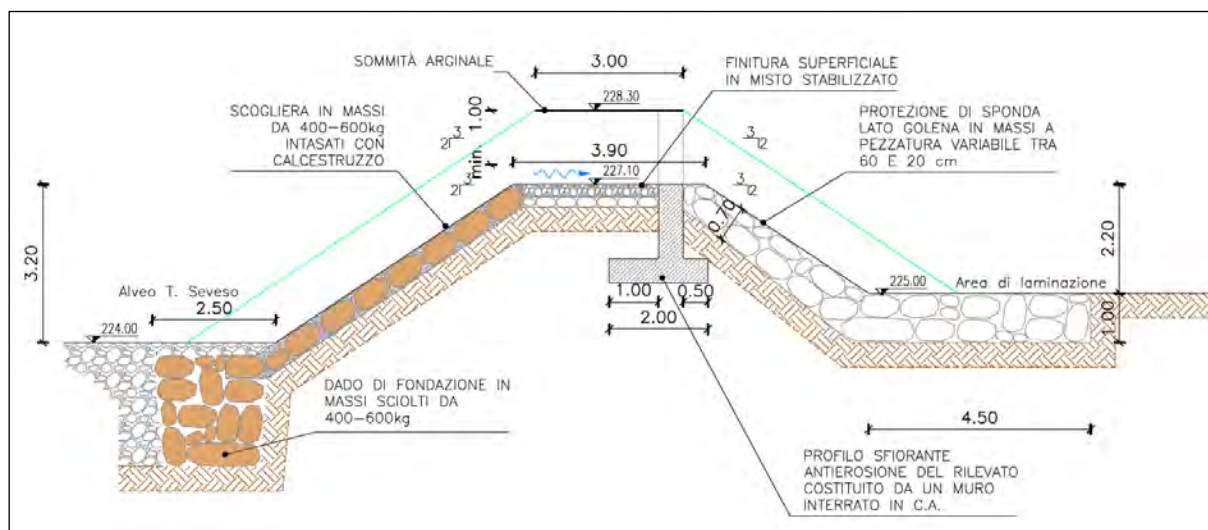
Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico dell'*area di laminazione golenale del torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB)* sono descritte di seguito in sintesi (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati del progetto definitivo).

L'area di laminazione golenale ha un volume totale invasabile di circa 20'000 m<sup>3</sup>.

L'invaso è ottenuto attraverso la formazione di rialzi/ringrossi di argini esistenti o la realizzazione di nuovi argini lungo la sponda destra del T. Seveso e mediante il rimodellamento dell'attuale piano campagna, da attuarsi attraverso lo scavo e l'asportazione di circa 40'000 m<sup>3</sup>. Una soglia a massi (Figura 13) stabilizzerà il fondo alveo, necessario alla corretta derivazione d'acqua dal fiume verso l'area di laminazione. Un manufatto di derivazione (L = 30 m), posto a monte della soglia stabilizzante, garantirà la derivazione delle portate di progetto per la corretta laminazione del torrente Seveso. In Figura 14 è rappresentata la sezione trasversale dello sfioratore per la derivazione delle portate di piena al colmo.



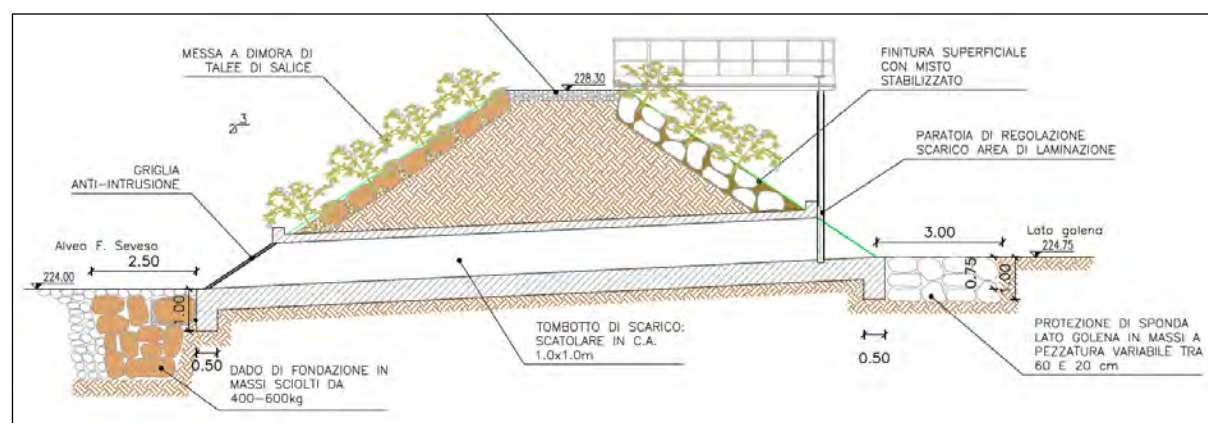
**Figura 13 –soglia di fondo in massi**



**Figura 14 – Sfioratore per la derivazione delle portate di piena**

Lo svuotamento dell'area di laminazione avverrà mediante manufatto idraulico di restituzione posto in posizione di valle rispetto all'area invasata. Tale manufatto (Figura 15) consiste in un tombotto di scarico a sezione rettangolare, transitante all'interno dell'argine, presidiato lato fiume da un clapet e lato golena da una paratoia.

L'apertura della paratoia, di tipo manuale, dovrà essere effettuata una volta terminato l'evento di piena lungo l'intero bacino del T. Seveso.



**Figura 15 – Manufatto di restituzione**

### 3.2 CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA AL COLLASSO

Lo studio dell'ipotetico collasso dell'opera è stato eseguito considerando le seguenti condizioni:

- portata costante transitante nell'alveo del torrente Seveso al momento dell'ipotetico crollo pari a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ . A tale valore di portata del T. Seveso corrisponde un livello idrico in alveo prossimo alla quota di fondo dell'invaso di laminazione, per cui l'argine è soggetto alla spinta dell'acqua all'interno dell'invaso; tale valore di portata è superiore alla portata in tempo asciutto, e ben rappresenta la portata presente in alveo durante la fase calante di un evento di piena;
- l'opera è un bacino di laminazione in derivazione, costituito da arginature in materiale terroso e privo di uno sbarramento o di una diga di ritenzione posta lungo l'alveo naturale;
- l'invaso ha una pendenza interna in direzione Nord-Sud con quote che variano tra 227 m s.m. e 225 m s.m. per cui nella parte Nord le quote del piano campagna sono pari al livello di massima regolazione;
- la porzione Ovest della vasca di laminazione è confinata da una strada podereale e dal rilevato ferroviario della linea Milano – Como – Chiasso; entrambi sono caratterizzati da quote superiori al livello di massimo invasore;
- lungo la porzione Est e Sud della vasca di laminazione è prevista la realizzazione dell'argine di separazione tra il torrente Seveso e l'invaso; quest'ultimo rappresenta il ricettore naturale in grado di ricevere l'onda di piena creata in seguito ad un ipotetico cedimento del perimetro arginale in progetto. Lungo tali lati dell'opera di laminazione si ha che le quote del piano campagna (sponda del torrente Seveso) sono inferiori al livello di massima regolazione. La parte posta più a sud è quella con quote inferiori e quindi è l'unica parte in cui tutto il volume presente in vasca può essere mobilitato da un eventuale crollo arginale.

Visto quanto sopra, lo scenario di riferimento prescelto per l'ipotetico collasso dell'opera è:

- ipotetico cedimento della parte terminale del lato Sud del rilevato arginale a servizio della vasca di laminazione, avente come ricettore naturale l'alveo del torrente Seveso;
- livello idrico all'istante dell'ipotetico collasso, pari alla quota di massima regolazione dell'invaso (227.10 m s.m.), corrispondente ad un volume contenuto nell'invaso pari a  $20.000 \text{ m}^3$ ;
- portata transitante in alveo pari a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

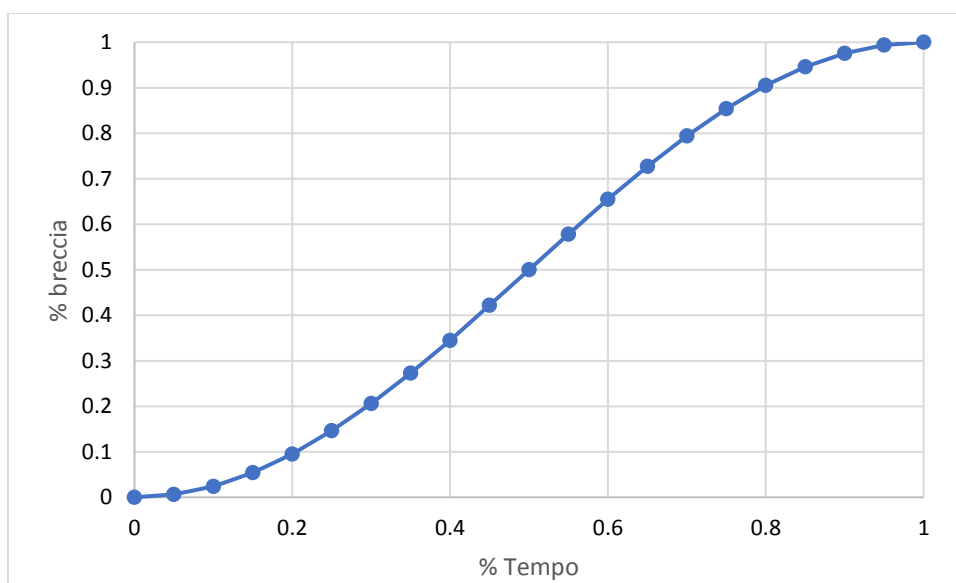
Di seguito sono descritte le ipotesi e le condizioni che hanno permesso di identificare il processo di cedimento dell'arginatura perimetrale del settore Sud della vasca di laminazione e di definire



le corrispondenti portate artificiali di collasso necessarie per la successiva identificazione delle aree allagabili.

### 3.2.1 Ipotesi di cedimento

Nelle opere di ritenuta realizzate con materiali sciolti, l'asportazione del rilevato avviene con modalità di sviluppo della breccia nel corpo diga dipendenti dall'intensità dell'azione erosiva dell'acqua tracimante dallo sbarramento. Da quanto suddetto ne consegue che l'asportazione del rilevato risulta praticamente sempre parziale e progressiva. Nel caso in studio, considerato il materiale costituente il rilevato ed il livello idrico di riferimento all'atto del collasso, conformemente ai risultati di studi riportati in letteratura ed eseguiti su casi reali, è stato considerato un processo di rottura per brecciatura (piping) con sviluppo progressivo ed andamento sinusoidale (v. Figura 1), quindi caratterizzato da una fase iniziale e finale di asportazione di materiale lenta ed una fase centrale di erosione più veloce.



**Figura 16** andamento sinusoidale del processo di brecciatura nel corpo arginale

### 3.2.2 Condizioni idrauliche alla rottura

Considerata la tipologia dell'opera (bacino di laminazione in derivazione) e l'interazione funzionale che tale opera ha con le fonti di alimentazione, si ipotizza che il collasso avvenga in condizioni di livello di massima regolazione (227.1 m s.m.). Questa ipotesi risulta essere conforme alle reali condizioni funzionali dell'opera e agli apporti provenienti dal torrente

Seveso. Non è stata presa in considerazione una condizione iniziale alla rottura rappresentata dal riempimento del serbatoio al livello di massimo invaso o alla quota di coronamento, in quanto il raggiungimento di tali livelli idrici nel bacino implica la contemporaneità tra eventi di piena del torrente Seveso con tempo di ritorno uguali o superiori a 100 anni ed un evento eccezionale rappresentato dal collasso del rilevato arginale. Una siffatta condizione corrisponde ad un evento catastrofico che avrebbe una probabilità di accadimento ben superiore a 100 anni. Come previsto dalle *“Raccomandazioni per la mappatura delle aree a rischio di inondazione e conseguente a manovre degli organi di scarico o ad ipotetico collasso delle dighe”* le portate in ingresso al serbatoio durante lo svolgersi del fenomeno di efflusso per brecciatura della diga possono essere trascurate, risultando il loro effetto contenuto nei riguardi del processo di generazione dell'onda di piena artificiale da rottura. Nel caso in esame non sono state prese in considerazione portate in ingresso al serbatoio durante l'ipotetico evento di crollo perché la condizione più sfavorevole in termini di portate rilasciate in alveo si genera quando il regime idrico del torrente Seveso non attiva l'opera di presa della vasca. Infatti, nel caso in cui si considerassero livelli idrici nel torrente Seveso superiori alla quota del piano di fondo della vasca, le portate rilasciate durante il crollo si ridurrebbero drasticamente.

### 3.2.3 Metodi di valutazione delle portate uscenti attraverso la breccia

Come previsto dall'art. 9.4 delle *“Direttive per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale”* in presenza di sbarramenti di ritenuta è richiesto di determinare le caratteristiche dell'onda di piena conseguente ad ipotetico collasso dello sbarramento e di individuare le aree soggette ad allagamento ai fini della Protezione Civile.

Il valore della portata massima dovuta a cedimento dello sbarramento, come prescritto dal citato capitolo, può essere valutata utilizzando metodologie di simulazione numerica oppure tramite il seguente metodo semplificato:

$$Q_{Crollo} = K \cdot L \cdot H^{3/2}$$

dove:

- ✓  $Q_{Crollo}$  = portata in m<sup>3</sup>/s da considerare per l'individuazione delle aree soggette ad allagamento conseguente al crollo dello sbarramento;
- ✓  $L$  (m) = lunghezza in metri della breccia ipotizzata pari a due conci tra quelli di maggiore altezza dello sbarramento, in conformità all'articolo 4.1 delle raccomandazioni della Circ.

P.C.M. 13/12/1995 n. DSTN/2/22806 che consente di ipotizzare un crollo parziale, interessante i soli elementi strutturali di maggiore altezza, in numero non comunque tale da fornire un rapporto tra le aree delle sezioni di breccia e diga non minore di 1/3;

- ✓  $H$  (m) = altezza in metri dello sbarramento;
- ✓  $K$  = coefficiente moltiplicativo assunto pari a 0,5, in conformità a quanto prescritto dal citato paragrafo per uno sbarramento in materiale sciolto.

Nel caso in esame, partendo dai risultati ottenuti con la formula del metodo semplificato sopra esposto, la portata di crollo è stata determinata utilizzando metodologie di simulazione numerica, implementate nel software di calcolo HEC-Ras che consente di determinare l'idrogramma delle portate effluenti utilizzando modelli matematico-numerici che permettono di riprodurre l'interazione tra la corrente defluente attraverso la breccia ed il materiale solido costituente il rilevato. Inoltre, come raccomandato dalla normativa, per validare i risultati ottenuti è stato effettuato il confronto con formule empiriche basate su analisi statistiche dei dati relativi ai casi storici di rottura<sup>1</sup>.

### 3.2.3.1 *Calcolo delle portate di collasso dell'opera*

Come anticipato, l'idrogramma di collasso dell'opera è stato definito mediante il modello idraulico HEC-Ras, che è il modello idraulico più largamente utilizzato negli Stati Uniti per l'analisi di sicurezza delle dighe e dispone di un'apposita routine di calcolo parametrico per l'analisi dei fenomeni di collasso delle dighe. Il programma permette, introducendo alcuni parametri quali la larghezza della breccia ed il tempo di formazione della stessa che vanno inseriti dopo averli determinati mediante formule empiriche, di determinare l'idrogramma di collasso sia in condizioni di moto stazionario sia di moto vario.

Nel caso in esame, è stato determinato un idrogramma in condizioni di moto vario che riproduce l'andamento delle portate in uscita dalla breccia che si forma in seguito ad un fenomeno di collasso dello sbarramento in materiale sciolto nelle condizioni idrauliche iniziali caratterizzate da un livello idrico nel bacino pari alla quota di massima regolazione.

Per determinare i parametri necessari alla quantificazione del fenomeno di collasso le formule empiriche maggiormente raccomandate in letteratura sono quelle di MacDonald & Langridge-Monopolis (1984), Washington State (2007) and Froehlich (2008). In particolare, per piccole dighe con capacità inferiori a 120.000 mc è consigliato l'uso del metodo Washington State

---

<sup>1</sup> *“Raccomandazioni per la mappatura delle aree a rischio di inondazione e conseguente a manovre degli organi di scarico o ad ipotetico collasso delle dighe” art. 4.3.3*

(2007) per il calcolo del Volume eroso ( $V_{er}$ ) e del tempo di formazione del processo ( $t_f$ ), mentre per stimare la larghezza della breccia ( $B$ ) è stato utilizzato il metodo di Froehlich (2008).

Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

Froehlich  $B = 0,27 \times K_0 \times V^{0,32} \times H^{0,04} = 8,64 \text{ m}$

Dove:

$B$  larghezza breccia

$K_0$  coefficiente moltiplicativo assunto pari a 1,3 per dighe in materiali sciolti;

$V$  volume sotteso dall'invaso pari a 20.000 mc;

$H$  altezza del livello idrico rispetto al piano campagna pari a 2,35 m;

Washington  $T_{f_{min}} = 0,02 \times V_{er}^{0,36} = 0,15 \text{ ore}$

$$V_{er} = 3,75 \times BFF^{0,77} = 3,75 \times 259,10^{0,77} = 270,64 \text{ YD}^3 \text{ (English Units)}$$

Dove:

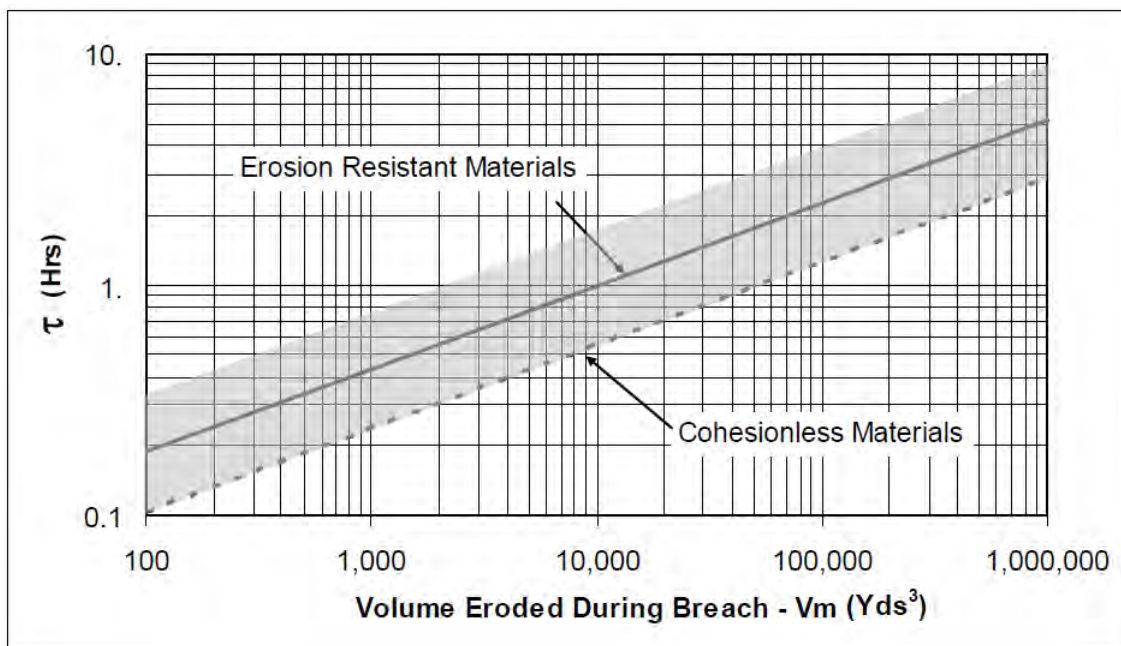
$T_f$  tempo di formazione del processo di erosione;

$V_{er}$  Volume eroso

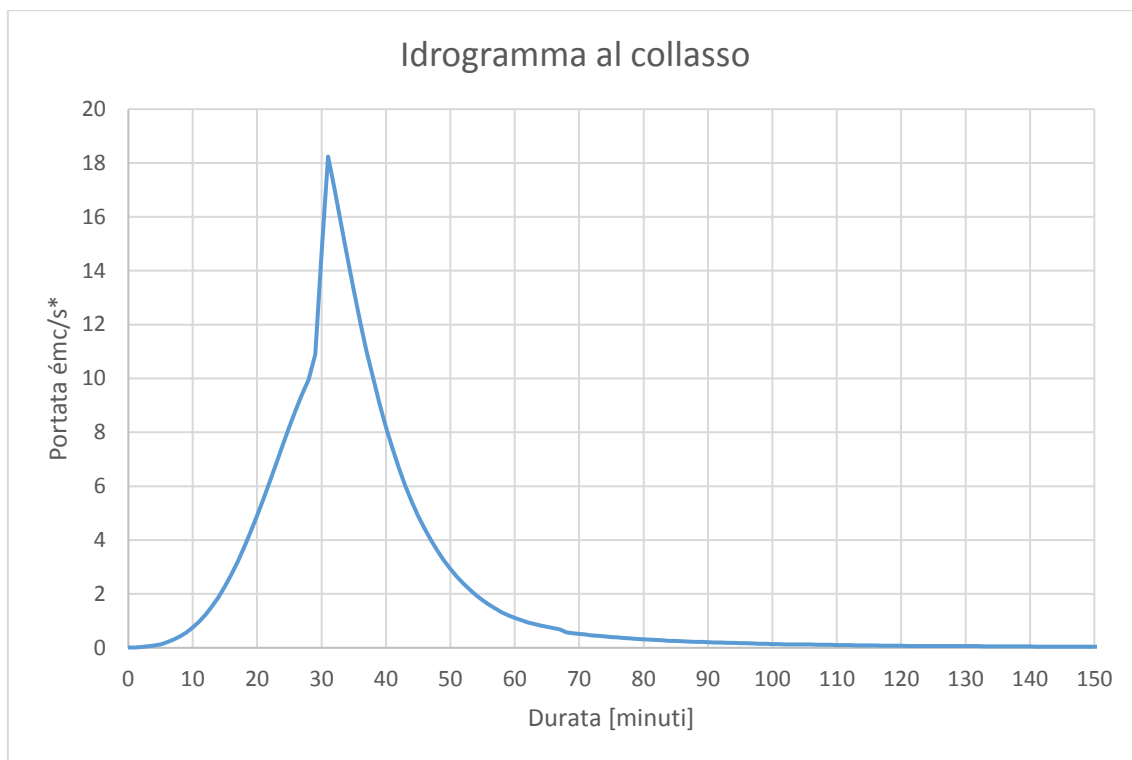
$BFF$  Fattore di formazione della breccia ( $V_w \times H_w = 259,10$ )

Considerando l'incertezza insita nella scelta delle variabili che caratterizzano il processo, si consiglia di ricavare mediante un'analisi di sensitività specifica il valore del tempo di formazione della rottura arginale. In particolare, si può valutare il tempo minimo e massimo possibili per la formazione della rottura arginale mediante il seguente grafico in funzione del volume eroso espresso in Unità Anglosassoni ( $YD^3$ ). Per il caso specifico si ottiene un tempo minimo pari a 0,15 ore ed un tempo massimo pari a 0,48 ore.





Considerando i risultati ottenuti dall'applicazione della formula del metodo semplificato proposto dalla normativa ed i valori minimi e massimi del tempo di formazione della rottura arginale ottenuti da formule di letteratura è stato tarato il modello di simulazione realizzato con il codice di calcolo HEC – Ras dal quale è stato ottenuto un idrogramma al collasso con portata di crollo  $Q_{cr} = 18,24$  mc/s (livello idrico all'istante dell'ipotetico collasso di 227,10 m s.m. pari alla quota di massima regolazione dell'invaso; volume stoccato nel bacino pari a 20.000 m<sup>3</sup>; altezza idrica dal piano campagna di 2,35 m; tempo di rottura 0,48 ore).



**Figura 17 idrogramma al collasso individuato con il codice di calcolo Hec-Ras**

Per validare il risultato ottenuto in termini di portata di picco al collasso è stata utilizzata la formula empirica proposta da Fread, sviluppata sulla base di numerose simulazioni con DAMBRK model e utilizzata nel NWS Simplified Dam Break model 24

$$Q_p = 3.1 WH_w^{1.5} \left[ \frac{A}{A + \tau \sqrt{H_w}} \right]^3 \quad (7)$$

where:

$$\begin{aligned} Q_p &= \text{Dam breach peak discharge (cfs)} \\ W &= \text{Average breach width (ft), } W = W_b + Z_b H_w \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} H_w &= \text{Initial height of water (ft) over the base elevation of the breach} \\ \tau &= \text{Elapsed time for breach development (hrs)} \\ A &= 23.4 S_a / W \end{aligned} \quad (9)$$

and:

$$S_a = \text{Surface area of reservoir (acres) at reservoir level corresponding to depth } H_w$$

L'applicazione della formula, i cui risultati sono di seguito riportati in forma tabellare, ha prodotto il seguente risultato, in linea con il risultato ottenuto con HEC-Ras. Considerando una superficie di 1,77 ettari (4,37 acri), un'altezza di 2,35 m (7,71 foot) e un tempo di rottura di

0,48 ore, si ottiene una portata pari a 20,72 mc/s (732,44 cfs).

**TABLE 4B - ESTIMATED DAM BREACH PEAK DISCHARGE FOR EMBANKMENTS OF EROSION RESISTANT MATERIALS**

Dam Height (Feet)	Dam Breach Peak Discharge (cfs)									
	Reservoir Surface Area (acres)									
	4	7	10	15	20	30	40	60	80	100
6	440	660	860	1,170	1,450	1,970	2,440	3,330	4,140	4,910
8	620	930	1,210	1,630	2,020	2,740	3,400	4,620	5,740	6,800
10	810	1,200	1,560	2,100	2,600	3,510	4,350	5,900	7,330	8,680
12	1,010	1,490	1,920	2,570	3,170	4,280	5,300	7,180	8,910	10,540
14	1,210	1,770	2,280	3,040	3,750	5,050	6,250	8,450	10,470	12,380
16	1,420	2,060	2,640	3,520	4,330	5,810	7,180	9,690	12,010	14,190
18	1,630	2,360	3,010	4,000	4,900	6,570	8,110	10,930	13,530	15,970
20	1,850	2,660	3,380	4,470	5,480	7,320	9,020	12,140	15,020	17,720
25	2,530	3,410	4,300	5,660	6,900	9,180	11,270	15,120	18,650	21,980
30	3,340	4,160	5,230	6,830	8,300	10,990	13,460	17,990	22,160	26,070
35	4,030	5,140	6,140	7,990	9,680	12,760	15,590	20,770	25,530	30,000
40	4,550	6,140	7,120	9,110	11,020	14,480	17,660	23,460	28,790	33,790
45	4,860	6,960	8,330	10,210	12,320	16,150	19,660	26,060	31,920	37,430
50	5,000	7,570	9,350	11,360	13,570	17,760	21,590	28,560	34,940	40,930

Applicando, invece, la formula semplificata  $Q_{Crollo} = K \cdot L \cdot H^{3/2}$ , il valore della portata al colmo in seguito al collasso sarebbe pari a 15.56 m<sup>3</sup>/s (dove  $L$  è posta uguale a  $B=8.64$  m). Pertanto la mappatura degli allagamenti è stata condotta con l'idrogramma di piena riportato nella Figura 17.

### 3.3 MAPPATURA ALLAGAMENTI

La determinazione delle aree allagabili in seguito al collasso di un tratto del perimetro arginale posto a Sud del bacino di laminazione è stata ottenuta mediante modellazione numerica con specifico software di calcolo bidimensionale *ICM* di *Wallingford* distribuito da Innovyze.

La caratterizzazione geometrica delle aree potenzialmente soggette ad allagamento è stata effettuata mediante DTM maglia 1 x 1 m.

La geometria di calcolo è data da una mesh a elementi triangolari le cui caratteristiche geometriche sono fornite direttamente dal modello digitale del terreno utilizzato e dagli elementi di schematizzazione, inseriti al fine di descrivere con accuratezza le variazioni morfologiche ed altimetriche degli elementi realmente presenti sia all'interno che all'esterno dell'alveo principale (ponti, traverse, argini, rilevati stradali, ecc.).

Le informazioni topografiche a disposizione a cui ci si è riferiti per implementare il modello sono le seguenti:

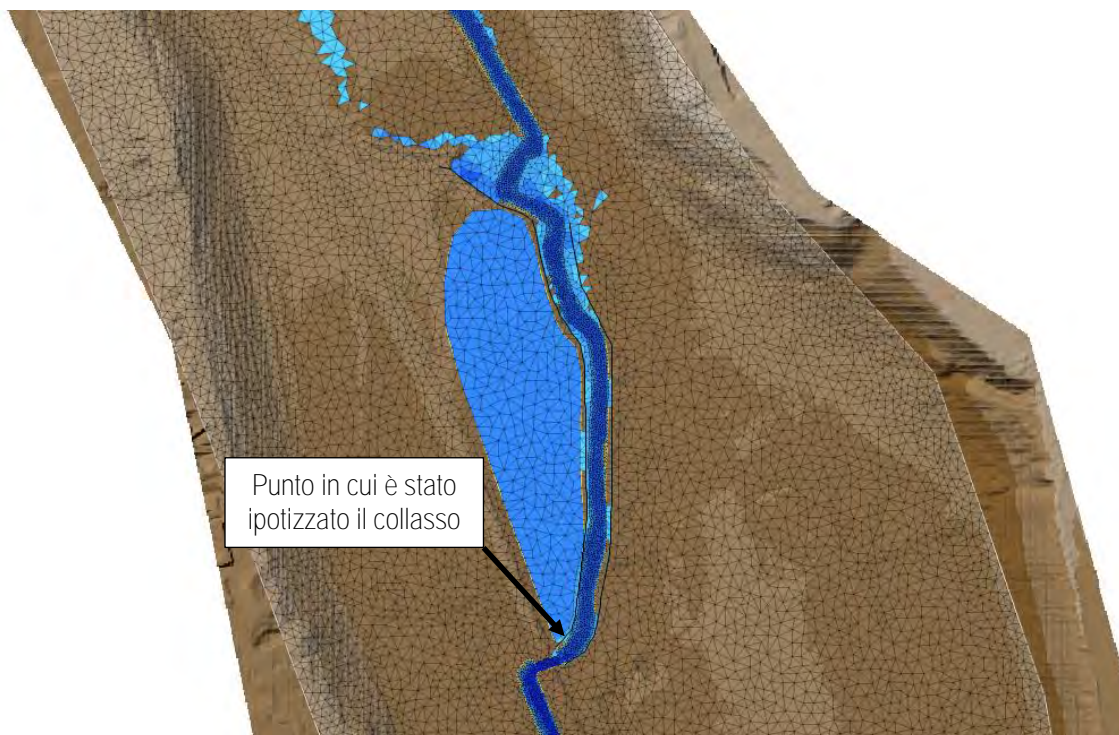
- rilievo topografico delle sezioni d'alveo ricavato dai rilievi condotti nello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” dell'Autorità di Bacino del fiume Po (AdBPO), relativi all'anno 2002;
- DTM ottenuto mediante l'elaborazione dei dati di un rilievo laser-altimetrico (LiDAR) dell'area di indagine, relativo al Piano Straordinario per il Telerilevamento Ambientale del Ministero dell'Ambiente della Tutela del Mare e del Territorio (2008÷2010).

In particolare il DTM è stato utilizzato per le porzioni della regione fluviale esterna all'alveo di magra, mentre le sezioni dell'AdBPo sono state utilizzate per definire le caratteristiche geometriche dell'alveo di magra, in quanto il rilievo LiDAR non è in grado di cogliere le quote di fondo alveo a causa della presenza dell'acqua.

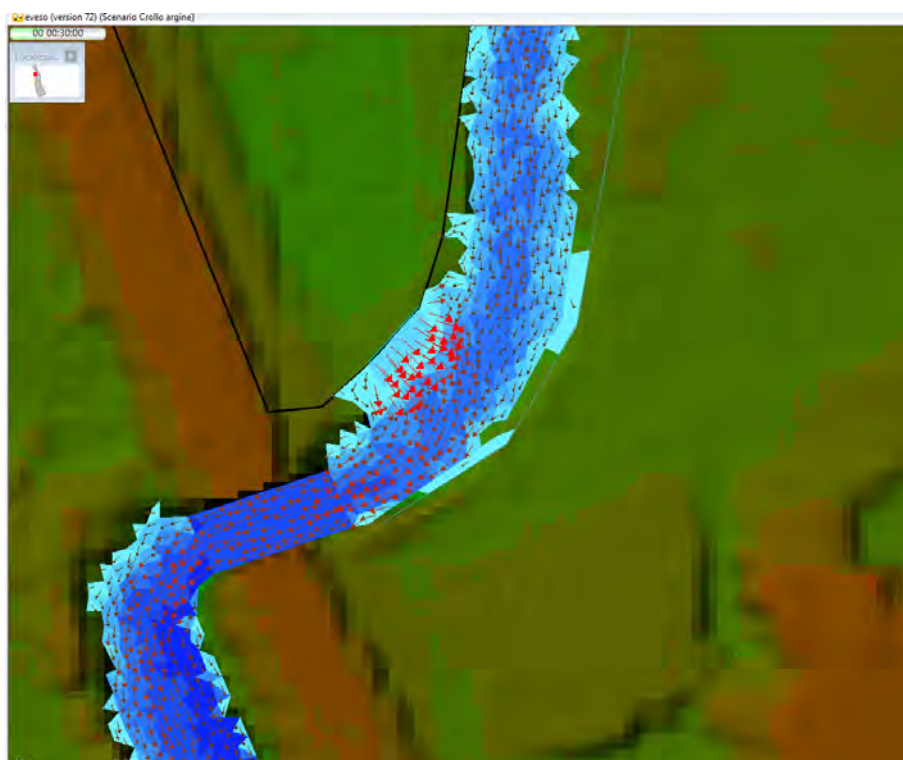
Il modello idraulico bidimensionale è stato implementato con dettaglio per un tratto di circa 2'000 m a valle dell'opera di laminazione golenale.

Di seguito si riporta lo schema del modello di calcolo.





**Figura 18 – Stralcio planimetrico del modello di calcolo bidimensionale**

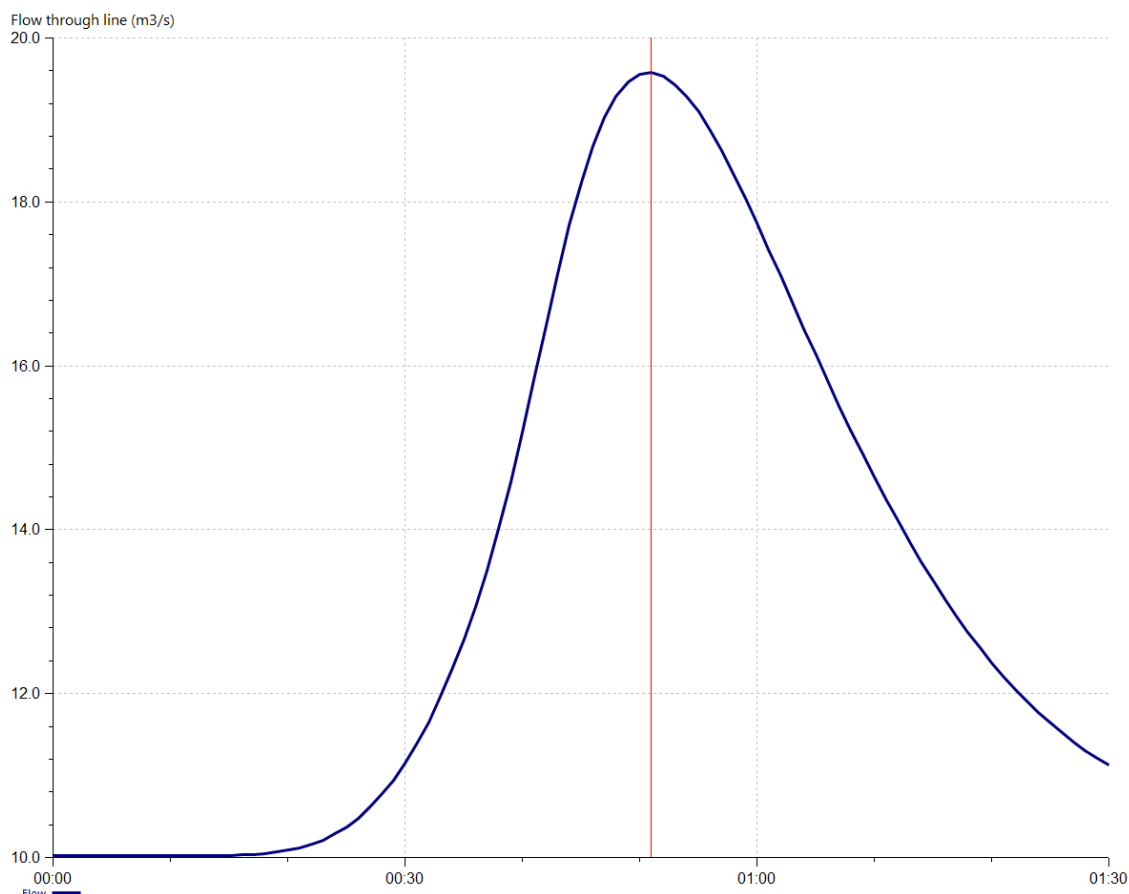


**Figura 19 – Stralcio planimetrico del modello di calcolo bidimensionale con indicazione del flusso defluente nel momento di picco dell'onda di crollo.**

Il principale risultato ottenuto dalla modellazione numerica è l'individuazione della zone soggette a potenziale inondazione rappresentate mediante la mappa delle aree allagabili.

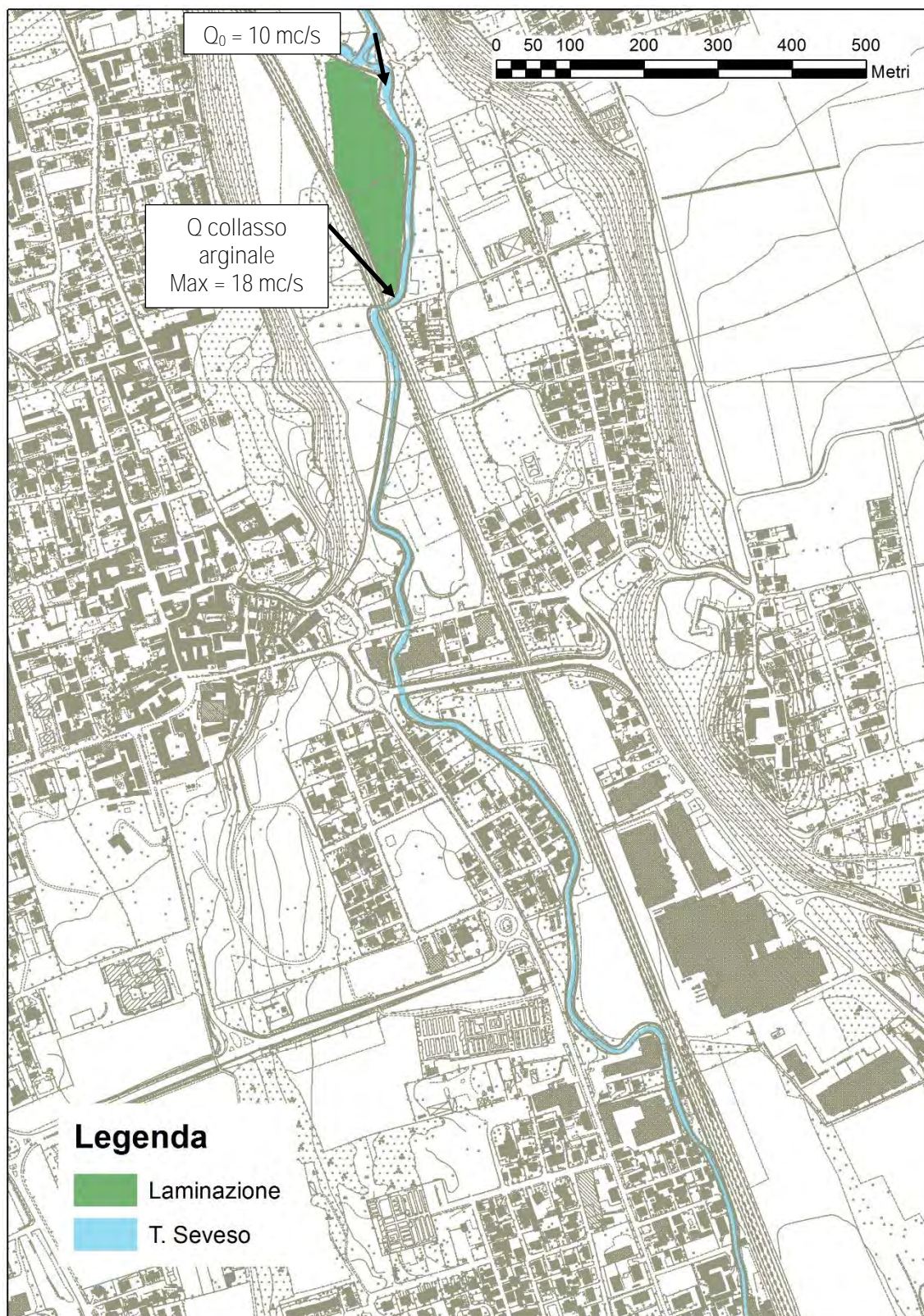
Nel caso in esame, osservando i risultati ottenuti, riportati nelle successive figure, si evince che l'ipotetico crollo arginale della porzione sud dell'arginatura dell'opera di laminazione in progetto non produce alcun allagamento sui territori posti a valle dell'opera. Unica eccezione è rappresentata da due piccole aree poste in sponda destra (rappresentate in dettaglio nella Figura 30), costituite da giardini pertinenti ad abitazioni civili, interessate da un allagamento con tirante idrico inferiore a 0.5 m e velocità massima inferiore a 0.2 m/s.

Infine, si evidenzia che per effetto della laminazione lungo l'asta del Seveso, in corrispondenza della sezione di chiusura del modello implementato, posto a circa 2'000 m dall'invaso in oggetto, la portata di picco dell'idrogramma prodotto dal crollo dell'arginatura subisce una riduzione del 30% (da 28 m<sup>3</sup>/s a 19.5 m<sup>3</sup>/s).



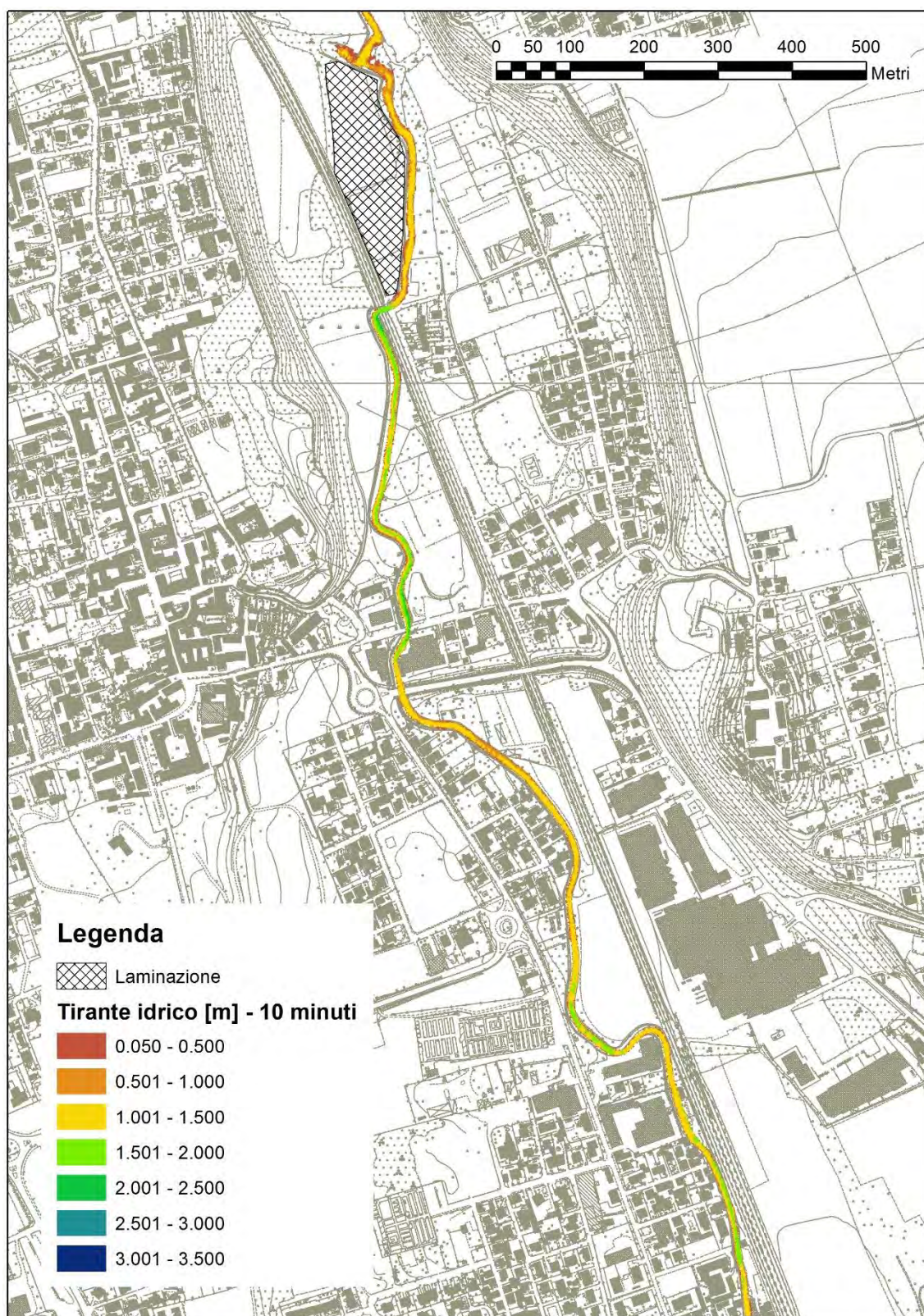
**Figura 20 – Idrogramma in corrispondenza della sezione posta a 2'000 m dal punto di crollo.**





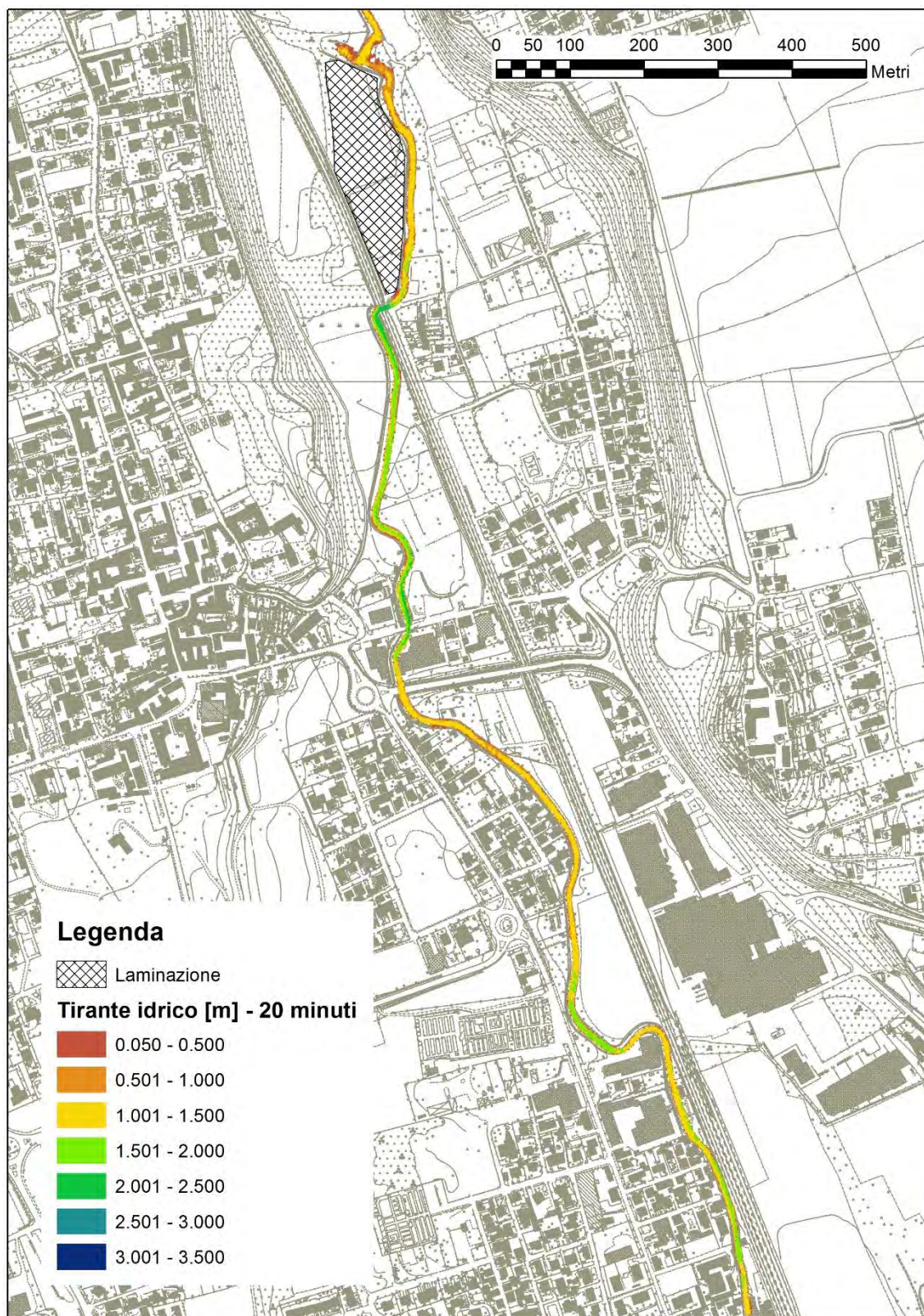
**Figura 21** Planimetria di riferimento del modello 2D





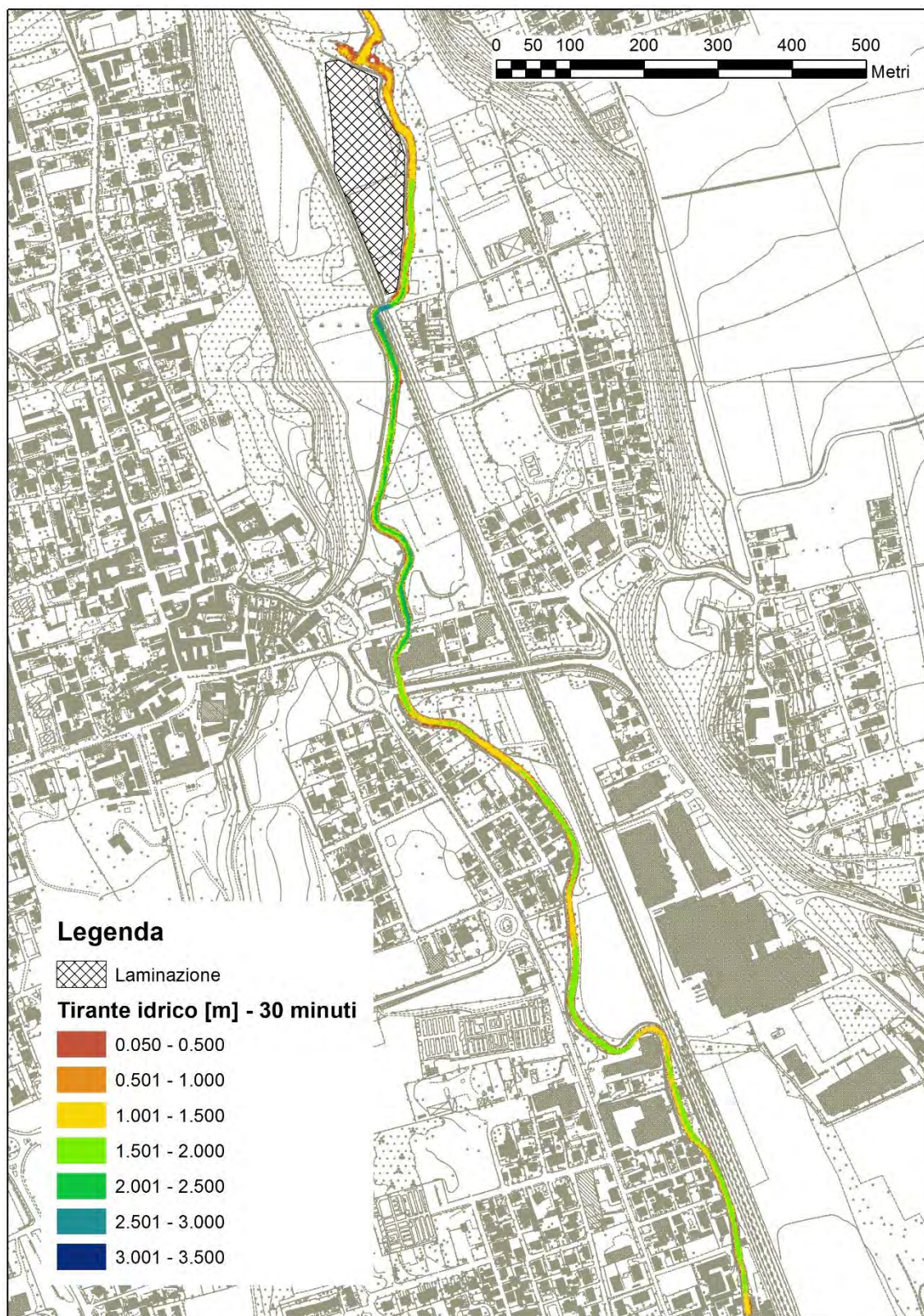
**Figura 22** Inviluppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 10 minuti dal crollo arginale





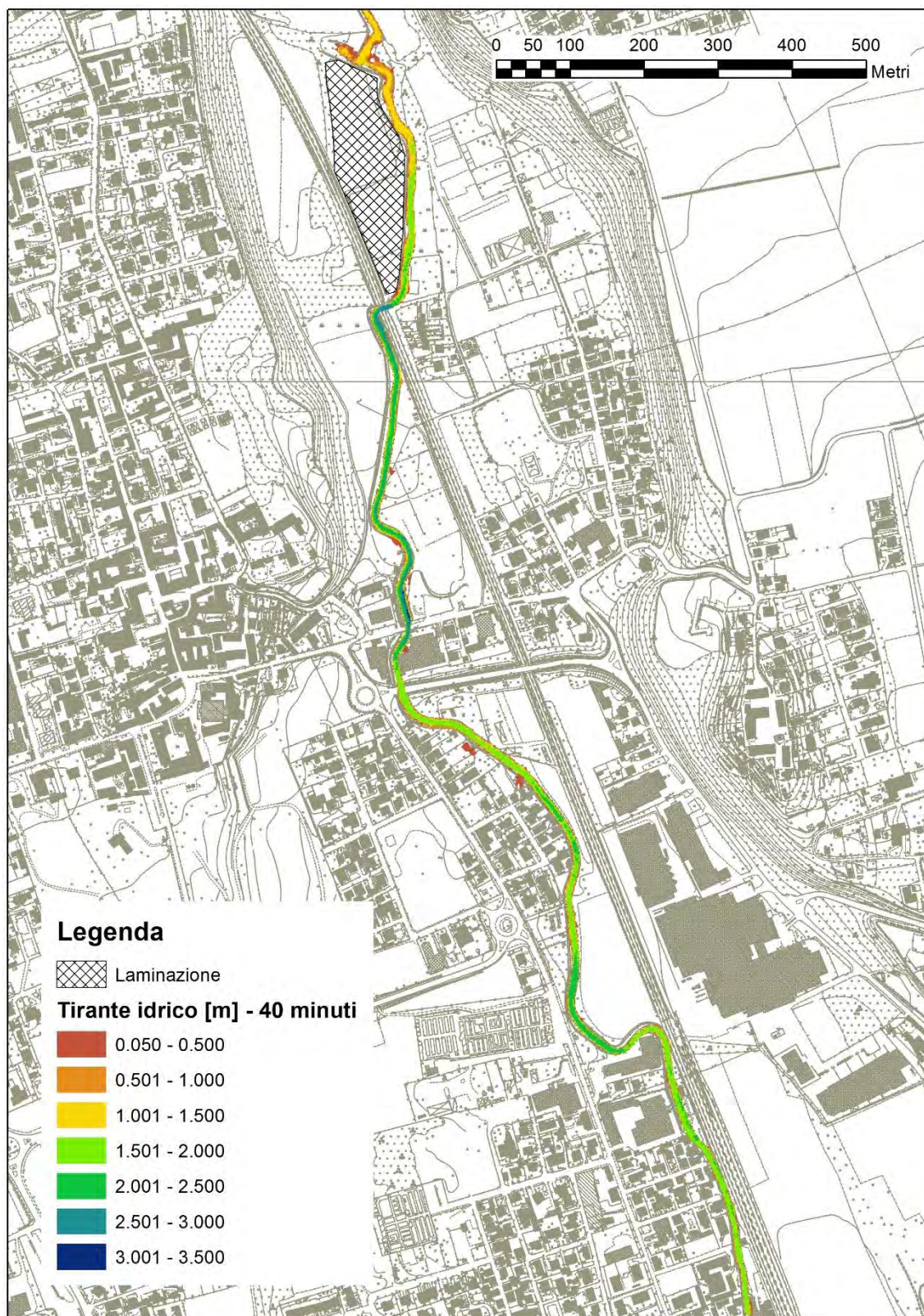
**Figura 23** Involuppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 20 minuti dal crollo arginale





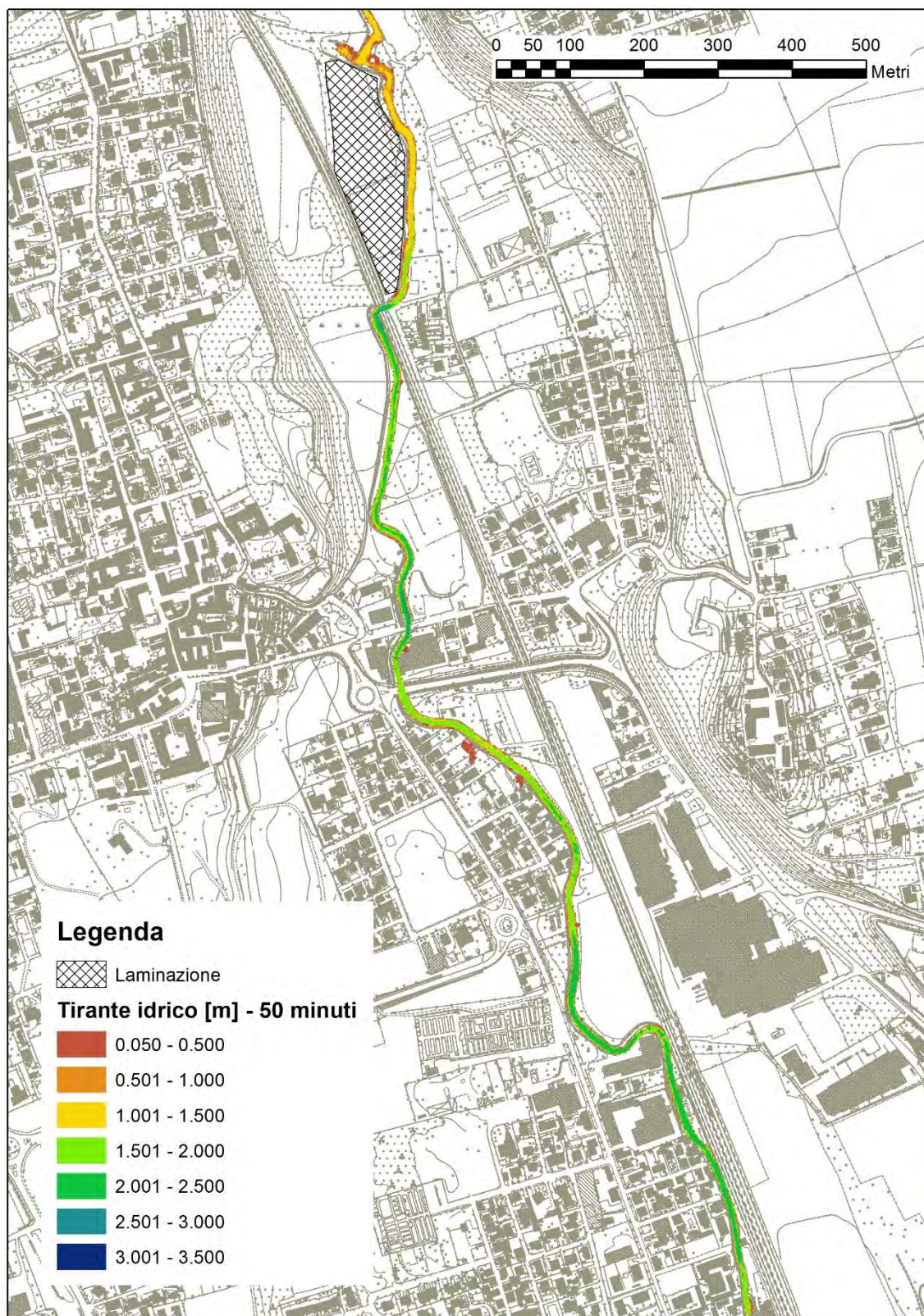
**Figura 24** Inviluppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 30 minuti dal crollo arginale





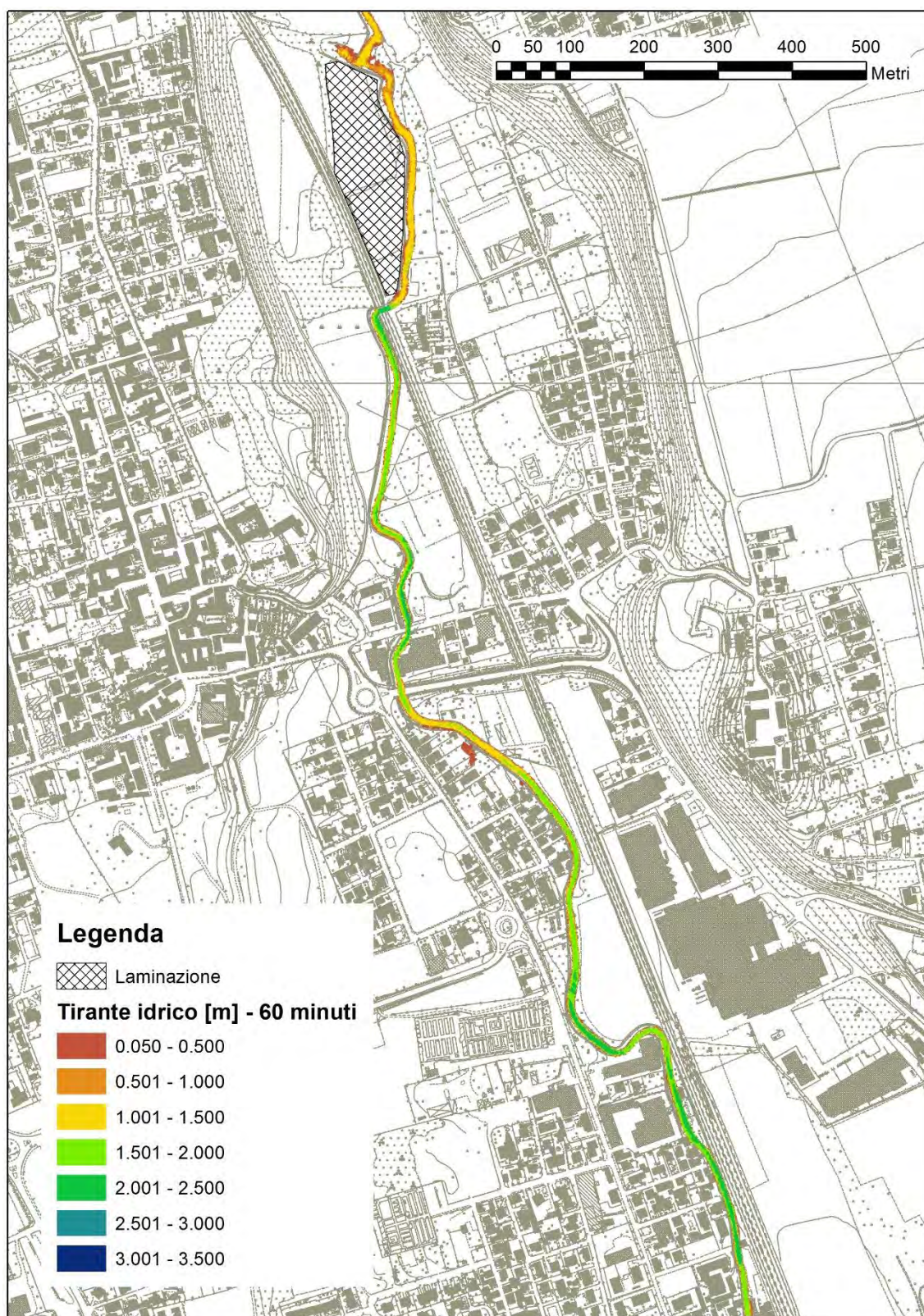
**Figura 25** Inviluppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 40 minuti dal crollo arginale





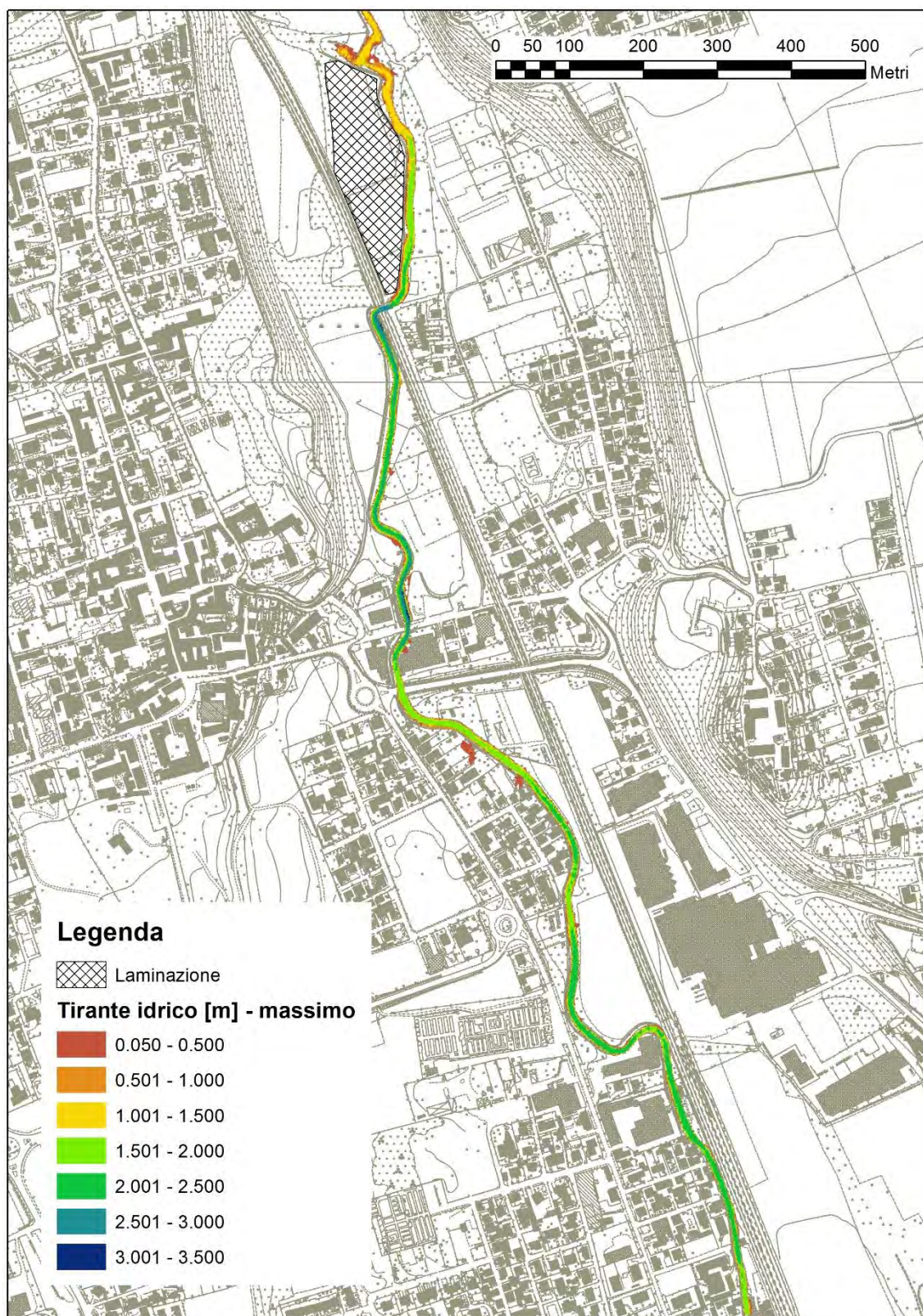
**Figura 26** Inviluppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 50 minuti dal crollo arginale





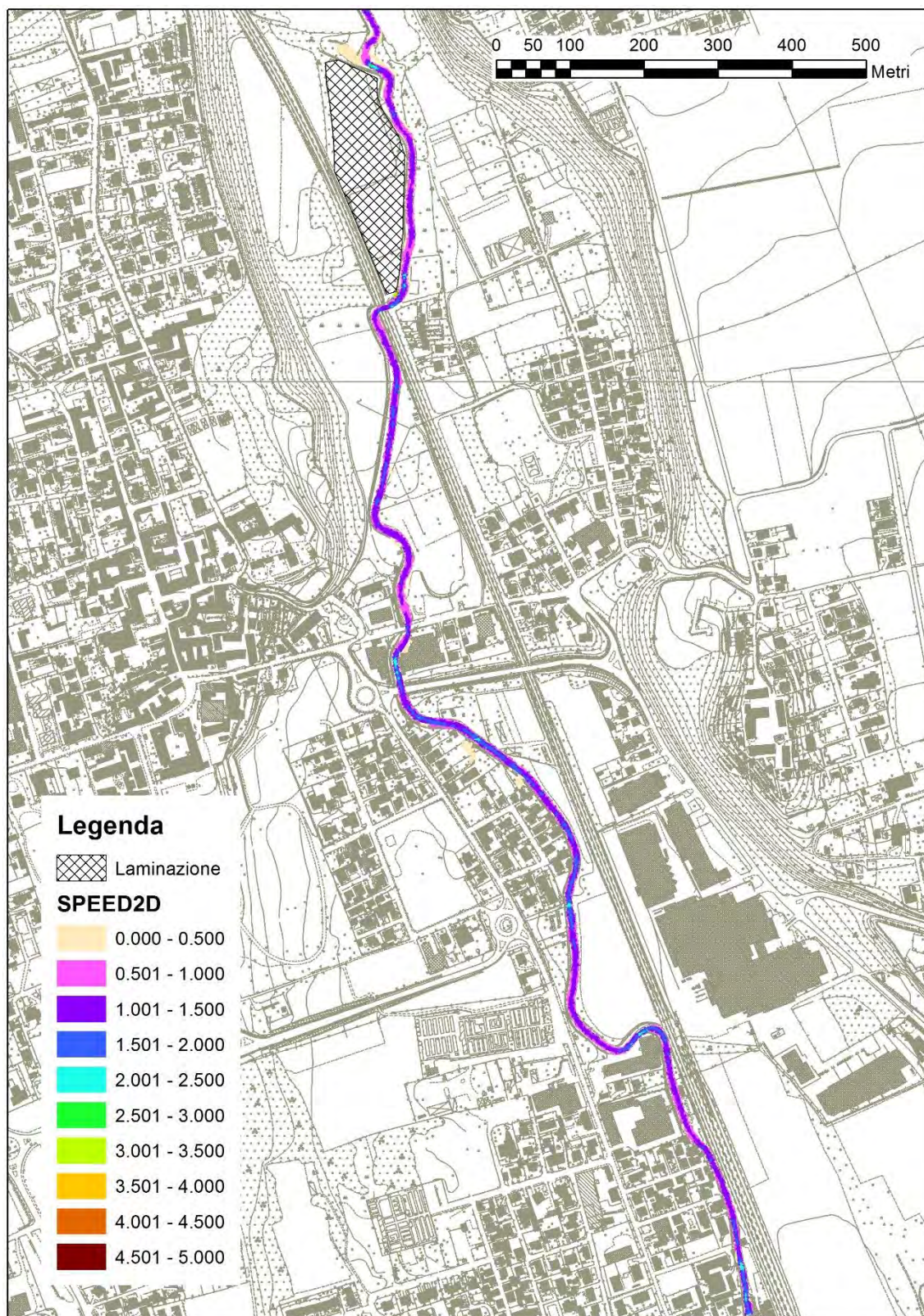
**Figura 27** Involuppo delle aree allagabili e tiranti idrici dopo 60 minuti dal crollo arginale





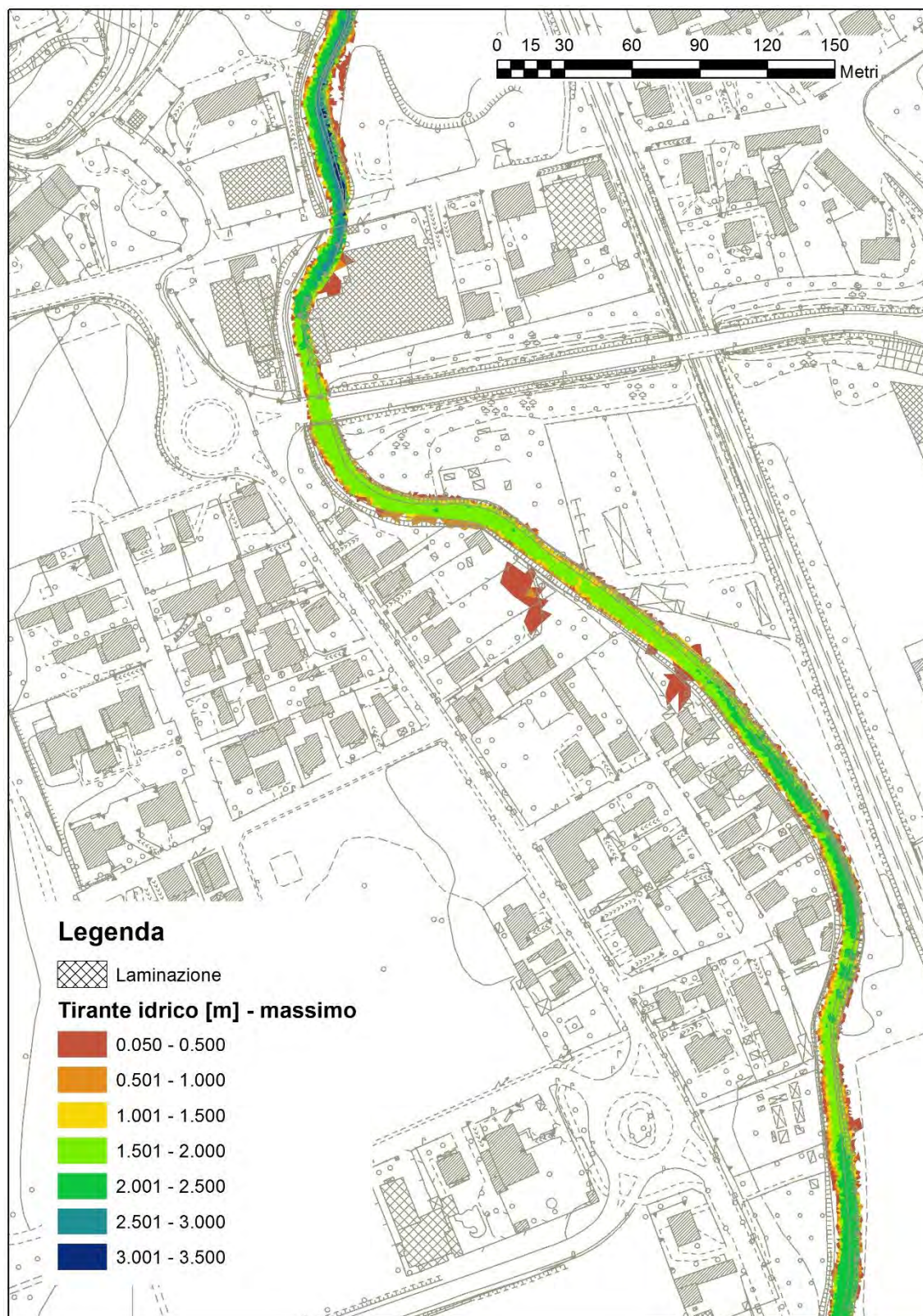
**Figura 28** Involuppo dei massimi delle aree allagabili e tiranti idrici conseguenti al collasso arginale





**Figura 29** Inviluppo dei massimi delle velocità conseguenti al collasso arginale





**Figura 30** Dettaglio delle aree interessate dall'allagamento conseguente al collasso arginale

Milano, gennaio 2020

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Dott. Ing. Stefano Croci

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

CEAS s.r.l.

Dott. Ing. Giovanni Canetta

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Gian Marco Orlandi