

VASCA DI LAMINAZIONE SUL FIUME SEVESO

Comune di Senago (MI)

PROGETTO DEFINITIVO

MI-E-789

OTTOBRE 2014



	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	S. Croci		
VERIFICA	G.B. Peduzzi		
APPROVAZIONE	A. Paoletti		

PROFESSIONISTI INCARICATI:

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. STEFANO CROCI
Dott. Ing. FILIPPO MALINGEGNO
Dott. Ing. CRISTINA PASSONI

Dott. Geol. MARIO SPADA
Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

Dott. Ing. CHIARA TONETTO

ETATEC
STUDIO PAOLETTI

S.R.L.



Sistema Certificato

UNI EN ISO 9001

SC 06-647/EA 34



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



Via Napoli 14/5 35020 Ponte S. Nicolò (PD)

CONSULENZE SPECIALISTICHE:

ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR
Dott. Agr. GIOVANNI SALA
Arch. LUISA BELLINI
Arch. IVAN MAESTRI

QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

LAND Milano Srl



UNI EN ISO 9001

certificato 09.1517

LAND

Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30

www.landmilano.com

GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Duisburg

Landscape
Architecture
Nature
Development

Piazzale Aquileia 6 20144 Milano | tel: +39 02 4814701

TITOLO

SCALA

STUDIO IDRAULICO CONSEGUENTE AL COLLASSO
ARGINALE – PERIMETRAZIONE AREE ALLAGAMENTO

Revisioni			
	1	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI VIA	APRILE 2015
	2	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONF. DEI SERVIZI	GIUGNO 2015
Numero elaborato	TIPOLOGIA	COMMESSA	DOCUMENTO
	PD	250-23	AT
			NUMERO
			A.8.1

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

INDICE

1.	PREMESSA.....	1
2.	DESCRIZIONE DELL'OPERA	2
3.	CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA AL COLLASSO.....	5
3.1	IPOTESI DI CEDIMENTO	6
3.2	CONDIZIONI IDRAULICHE ALLA ROTTURA	6
3.3	METODI DI VALUTAZIONE DELLE PORTATE USCENTI ATTRAVERSO LA BRECCIA	7
3.3.1	Calcolo delle portate di collasso dell'opera	8
4.	MAPPATURA DEGLI ALLAGAMENTI CONSEGUENTI AL COLLASSO DEL SISTEMA ARGINALE.....	11
5.	ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ E DI RISCHIO DI ESONDAZIONE	20
6.	ALLEGATI CARTOGRAFICI	24

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

1. PREMESSA

Come previsto dall'art. 4 della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8¹, per gli sbarramenti di altezza superiore 10 m o che determinano un volume d'invaso superiore a 100.000 m³, è prescritto lo studio delle condizioni di deflusso a valle in caso di ipotetico collasso dello sbarramento e l'individuazione delle aree soggette ad allagamento ai fini della protezione civile. Sulla base di tale studio, redatto secondo le raccomandazioni approvate con la Circolare D.P.C.M. 13 dicembre 1995, n. 22806², deve essere compilato il "Documento di protezione civile" da allegare al Disciplinare, contenente le condizioni che debbono verificarsi perché si attivi il sistema di protezione civile e le procedure da porre in atto nelle varie fasi di allerta.

In ottemperanza ai dettami contenuti nella legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 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, di cui al capitolo 9.4 delle Direttive regionali.

¹ Art. 4, comma1, lettera h): [...] il progetto esecutivo deve contenere i seguenti elaborati: [...] "tutte le notizie, indagini ed approfondimenti eventualmente richiesti dal Genio Civile nella fase istruttoria di cui al precedente art. 3, compreso lo studio delle condizioni di deflusso a valle in caso di ipotetico collasso dello sbarramento ed individuazione delle aree soggette ad allagamento ai fini della protezione civile"

² Circolare P.C.M. (c.d. "Barberi") 13 dicembre 1995, n. DSTN/2/22806 "Disposizioni integrative in materia di dighe" e allegate "Raccomandazioni per la mappatura delle aree a rischio di inondazione conseguente a manovre degli organi di scarico o ad ipotetico collasso delle dighe";

2. DESCRIZIONE DELL'OPERA

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico della *Vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago* sono, in estrema sintesi, le seguenti (per maggiori dettagli si rimanda agli elaborati del progetto definitivo):

- Vasca di laminazione per un volume utile complessivo pari a circa 810'000 m³, suddivisa in n. 3 settori, in serie, fuori linea rispetto ai corsi d'acqua interessati (T. Seveso, attraverso il CSNO, T. Garbogera e T. Pudiga), comprensiva di manufatti idraulici di collegamento tra i due settori;
- opere di presa: dal CSNO, dal T. Garbogera e dal T. Pudiga;
- canale di alimentazione per convogliare nella vasca di laminazione le portate derivate dal CSNO (provenienti dal T. Seveso) e dal T. Garbogera;
- manufatti di sfioro per il collegamento tra il primo e secondo settore di invaso;
- manufatto di sfioro di emergenza del secondo settore di invaso;
- stazione di sollevamento e manufatto di collegamento tra i diversi settori dell'invaso;
- canale di scarico dell'invaso nel CSNO;
- area di fitodepurazione;
- opere civili e paesaggistiche;
- impianti elettrici (cabina di consegna Enel, quadro MT, trasformatore, quadri BT, ecc.);
- opere di valorizzazione paesaggistica.

Le principali caratteristiche dell'invaso in progetto sono:

- volume di invaso: 810'000 m³, suddiviso in n. 3 settori in serie, caratterizzati dai seguenti volumi:
 - I settore: 50'000 m³;
 - II settore: 495'000 m³;
 - III settore: 265'000 m³;
- superficie di invaso alla quota di massima regolazione: 114'200 m², di cui:
 - I settore: 18'300 m²;
 - II settore: 60'900 m²;
 - III settore: 35'000 m²;
- quota di fondo degli invasi di laminazione:
 - I settore: 155.6 m s.m.;
 - II settore: 149.0 m s.m.;

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- III settore: 149.0 m s.m.;
- quota di massima regolazione:
 - I e II settore: 159.0 m s.m.;
 - III settore: 159.25 m s.m.;
- quota di massimo invaso:
 - con II settore in funzione: 159.73 m s.m.;
 - con II settore in manutenzione e III settore in funzione: 159.98 m s.m.;
- quota di coronamento delle arginature perimetrali, ove presenti:
 - I settore: 162.20 m s.m.;
 - II e III settore: 161.80 m s.m.;
- quota di recapito delle portate laminate: 155.25 m s.m.;
- corsi d'acqua che alimentano l'invaso: T. Seveso (attraverso il C.S.N.O.), T. Garbogera e T. Pudiga;
- ricettore finale delle acque laminate: C.S.N.O.;
- portata al colmo sfiorata nell'invaso con riferimento ad un tempo di ritorno pari a 100 anni:
 - dal T. Seveso attraverso il C.S.N.O.: 35 m³/s;
 - dal T. Garbogera: 5 m³/s;
 - dal T. Pudiga: 18 m³/s;
- portata massima del sistema di scarico: 5 m³/s;
- portata media di svuotamento del sistema di scarico: 4.2 m³/s;
- tempo di svuotamento dell'invaso: 64 ore;
- modalità di svuotamento dell'invaso: a gravità e per sollevamento.

Nella Figura 1 è riportato lo schema planimetrico dell'invaso di laminazione di Senago.



Figura 1 Schema planimetrico della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

3. CONDIZIONI DI RIFERIMENTO PER LA VERIFICA AL COLLASSO

Lo studio dell'ipotetico collasso dell'opera è stato eseguito considerando uno scenario di riferimento influenzato fortemente dalla tipologia e dalle modalità di gestione dell'opera. In particolare, il processo di identificazione dell'ipotetico scenario di collasso dell'opera ha tenuto in considerazione le seguenti ipotesi e condizioni:

- 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 un alveo naturale;
- non sono presenti scarichi di mezzo fondo;
- l'apporto del torrente Seveso è controllato da monte e, comunque, limitato alla capacità idraulica del C.S.N.O.;
- l'apporto dei torrenti Pudiga e Garbogera è limitato dalla loro reale capacità idraulica;
- il settore I della vasca di laminazione è posto in una zona in cui le quote del piano campagna sono superiori al livello di massima regolazione;
- il settore II della vasca di laminazione, nel breve tratto in cui le quote di piano campagna sono inferiori alla quota di massima regolazione, è confinato entro corsi d'acqua naturali ed artificiali che intercettano l'onda artificiale creatasi per una rottura del perimetro arginale;
- il settore III non dispone di un vero e proprio ricettore naturale o artificiale, in grado di ricevere l'onda di piena creatasi in seguito ad un ipotetico cedimento del sistema arginale che lo compone, e l'unico tratto del suo perimetro che confina con quote del piano campagna inferiori al livello di massima regolazione è posto a sud dell'opera.

Visto quanto sopra, lo scenario di riferimento prescelto e rappresentante l'ipotetico collasso dell'opera ha le seguenti caratteristiche:

- ipotetico cedimento di una parte del lato sud del rilevato arginale a servizio del III Settore della vasca di laminazione, avente come ricettore naturale il piano campagna posto verso la Cascina Traversagna e le zone nord del territorio comunale di Bollate;
- livello idrico all'istante dell'ipotetico collasso, pari alla quota di massima regolazione dell'invaso (159,25 m s.m.), corrispondente ad un volume stoccato nel bacino rispetto al punto più depresso del piano campagna (158,77 m s.m.) pari a 56.700 m³ e ad un'altezza idrica dal medesimo piano campagna pari a 0,48 m.

Di seguito sono descritte le ipotesi e le condizioni che hanno permesso di identificare il processo di cedimento dell'arginatura perimetrale del III Settore e di definire le corrispondenti portate

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

3.1 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. 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 2), quindi caratterizzato da una fase iniziale e finale di asportazione di materiale lenta ed una fase centrale di erosione più veloce.

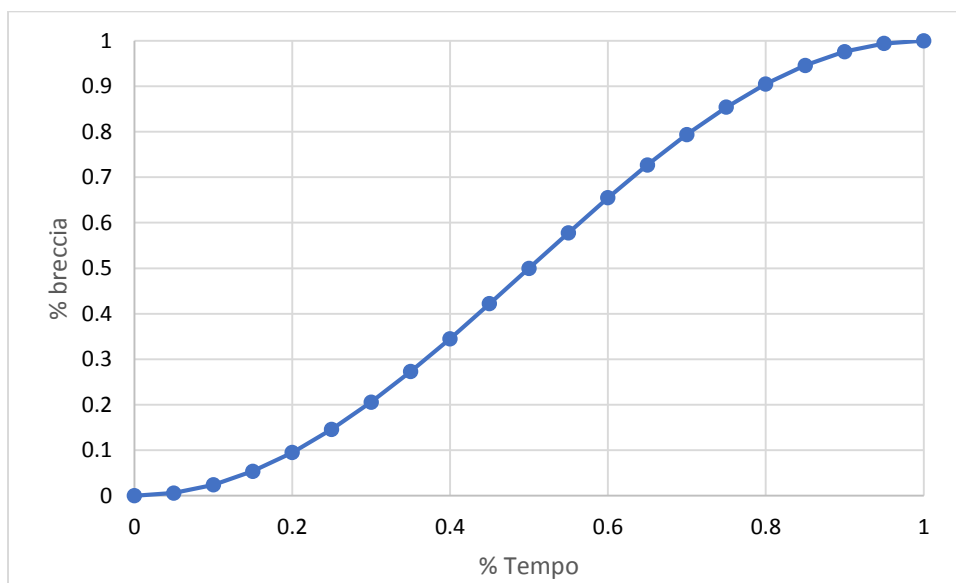


Figura 2 andamento sinusoidale del processo di brecciatura nel corpo arginale

3.2 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 sia dovuto ad una piena non smaltita dagli organi di scarico della diga, che causi il riempimento del serbatoio sino al livello di massima regolazione (159,25 m s.m.). Questa ipotesi, seppur gravosa, risulta essere conforme alle reali condizioni funzionali dell'opera e agli apporti

A.T.P.:				Consulenti:	
		Studio Associato di Geologia Spada	Dott. Ing. C. Tonetto		Prof. Dott. V. Mezzanotte

provenienti dalle fonti di alimentazione naturali (T. Pudiga e T. Garbogera) e dal T. Seveso per il tramite del C.S.N.O..

In questo caso, 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 degli affluenti naturali (T. Pudiga e T. Garbogera) di tempo di ritorno uguali o maggiori di 3.000 anni³ ed un evento eccezionale rappresentato dal collasso del rilevato arginale. Una siffatta condizione corrisponde ad un evento catastrofico che ha una probabilità di accadimento ben superiore a 3.000 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. Le portate rilasciate attraverso gli organi di scarico superficiale sono valutate in relazione ai livelli idrici presenti nel serbatoio. Nel caso in cui si considerano livelli superiori a quelli di progetto, occorre verificare la reale capacità di smaltimento delle portate da parte delle opere di scarico. Nel caso in esame, i livelli idrici presenti nel bacino, corrispondenti alla quota di massima regolazione, non attivano tutti gli organi di scarico superficiale posti rispettivamente alla quota di 159,00 m s.m. e 159,25 m s.m.. A favore di sicurezza, nelle verifiche dello scenario di collasso i contributi degli organi di scarico superficiale non sono stati considerati.

3.3 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.

Le portate uscenti attraverso la breccia a seguito del collasso di uno sbarramento di ritenuta

³ Tempo di ritorno dell'evento per il quale sono stati dimensionati gli sfioratori di superficie del bacino di laminazione, così come riportato nella relazione idrologico-idraulica allegata al Progetto Definitivo dell'opera, considerando un apporto nullo proveniente dal t. Seveso per il tramite del C.S.N.O. in quanto già regolato

sono valutate utilizzando metodologie di simulazione numerica o mediante il seguente metodo semplificato:

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

dove:

- ✓ Q_{Crollo} = portata in m³/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 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 rottura⁴.

3.3.1 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

⁴ "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

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) e Froehlich (2008). In particolare, per piccole dighe con capacità inferiori a 120.000 mc è consigliato l'uso del metodo Washington State (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
$$B = 0,27 \times K_0 \times V^{0,32} \times H^{0,04} = 11,33 \text{ m}$$

Dove:

B larghezza breccia

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

V volume sotteso dall'invaso;

H altezza del livello idrico rispetto al piano campagna;

Washington
$$T_f = 0,02 \times V_{er}^{0,36} = 0,11 \text{ ore}$$

$$V_{er} = 3,75 \times BFF^{0,77} = 104,66 \text{ YD}^3 \text{ (English Units)} = \sim 80 \text{ m}^3$$

Dove:

T_f tempo di formazione del processo di erosione;

V_{er} Volume eroso

BFF Fattore di formazione della breccia ($V \times H$)

Considerando un livello idrico all'istante dell'ipotetico collasso pari alla quota di massima regolazione dell'invaso (159,25 m s.m.), corrispondente ad un volume stoccato nel bacino pari a 56.700 m³ ed un altezza idrica dal piano campagna di 0,48 m, si ottiene dal modello Hec-Ras un idrogramma al collasso con portata di crollo $Q_{cr} = 3,87 \text{ mc/s}$.

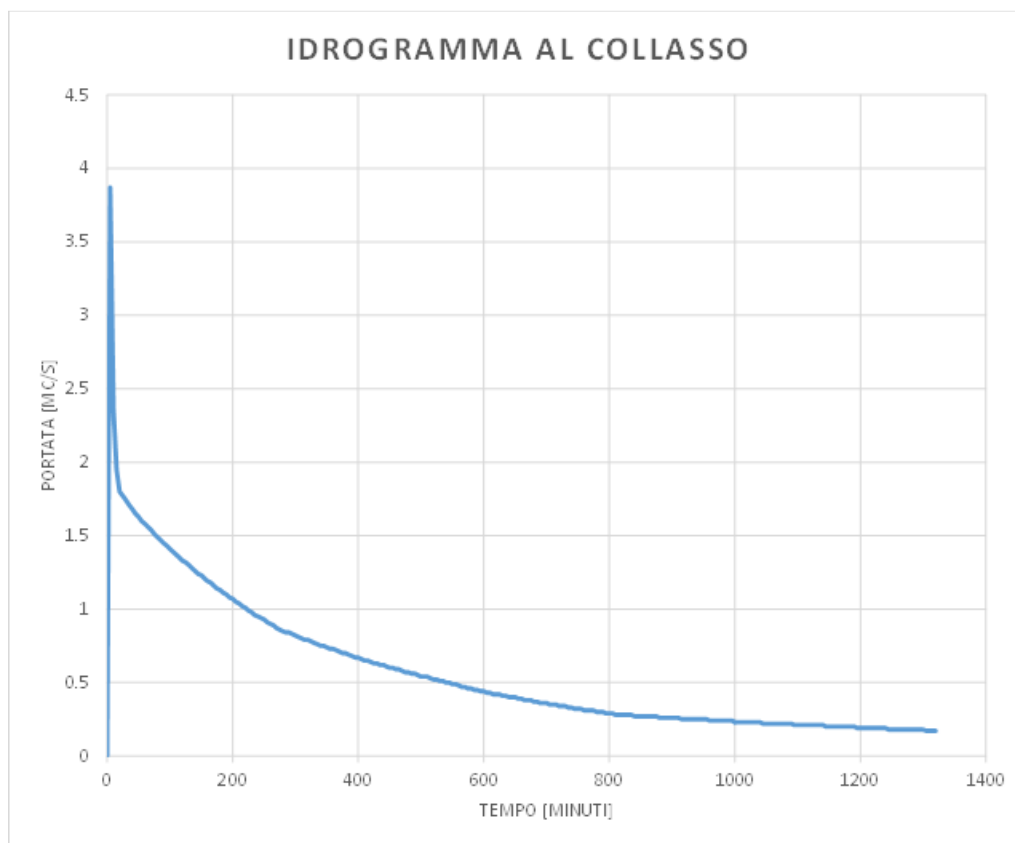


Figura 3 idrogramma al collasso individuato con il codice di calcolo Hec-Ras

Per validare il risultato ottenuto in termini di portata di picco al collasso è stata utilizzata la formula empirica di MacDonald & Langridge-Monopolis (1984) che ha prodotto il seguente risultato, in linea con il risultato ottenuto con HEC-Ras:

MacDonald & Langridge-Monopolis $Q_{cr} = (1,154/43,56) \times (V \times H)^{0,412} = 3,63 \text{ m}^3/\text{s}$

Applicando, invece, la formula semplificata $Q_{Crollo} = K \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$, il valore della portata al colmo in seguito al collasso sarebbe pari a $1.9 \text{ m}^3/\text{s}$ (dove L è posta uguale a B)

Nell'analisi degli effetti dell'ipotetico collasso del sistema arginale è stato considerato, cautelativamente, il valore di portata di crollo $Q_{cr} = 3,87 \text{ mc/s}$.

4. MAPPATURA DEGLI ALLAGAMENTI CONSEGUENTI AL COLLASSO DEL SISTEMA ARGINALE

La determinazione delle aree allagabili in seguito al collasso di un tratto del perimetro arginale del III settore 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 sulla base di un DTM maglia 1 x 1 (v. Figura 4) con il quale è stato possibile definire un dominio di calcolo composto da circa 220.000 celle (v. Figura 5 e Figura 6).

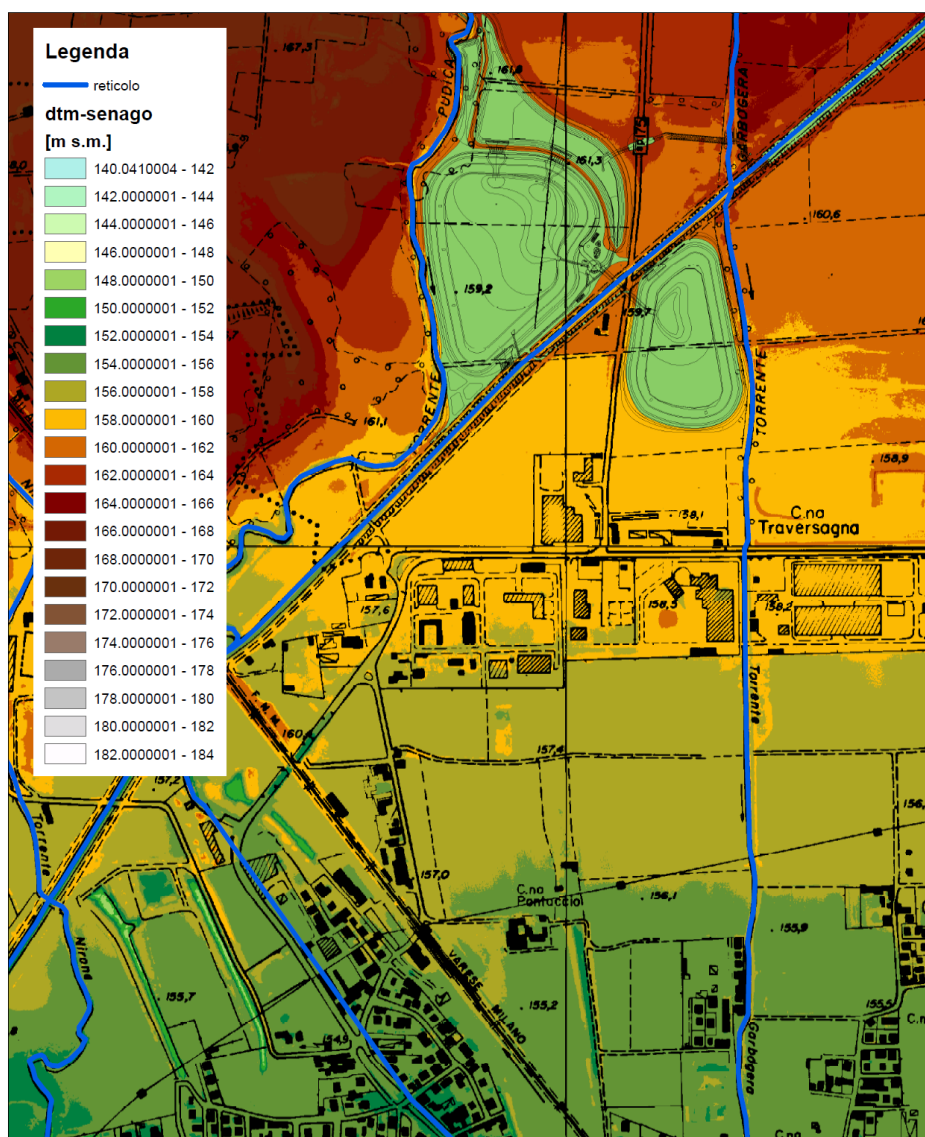


Figura 4 DTM utilizzato per la simulazione bidimensionale delle aree di allagamento

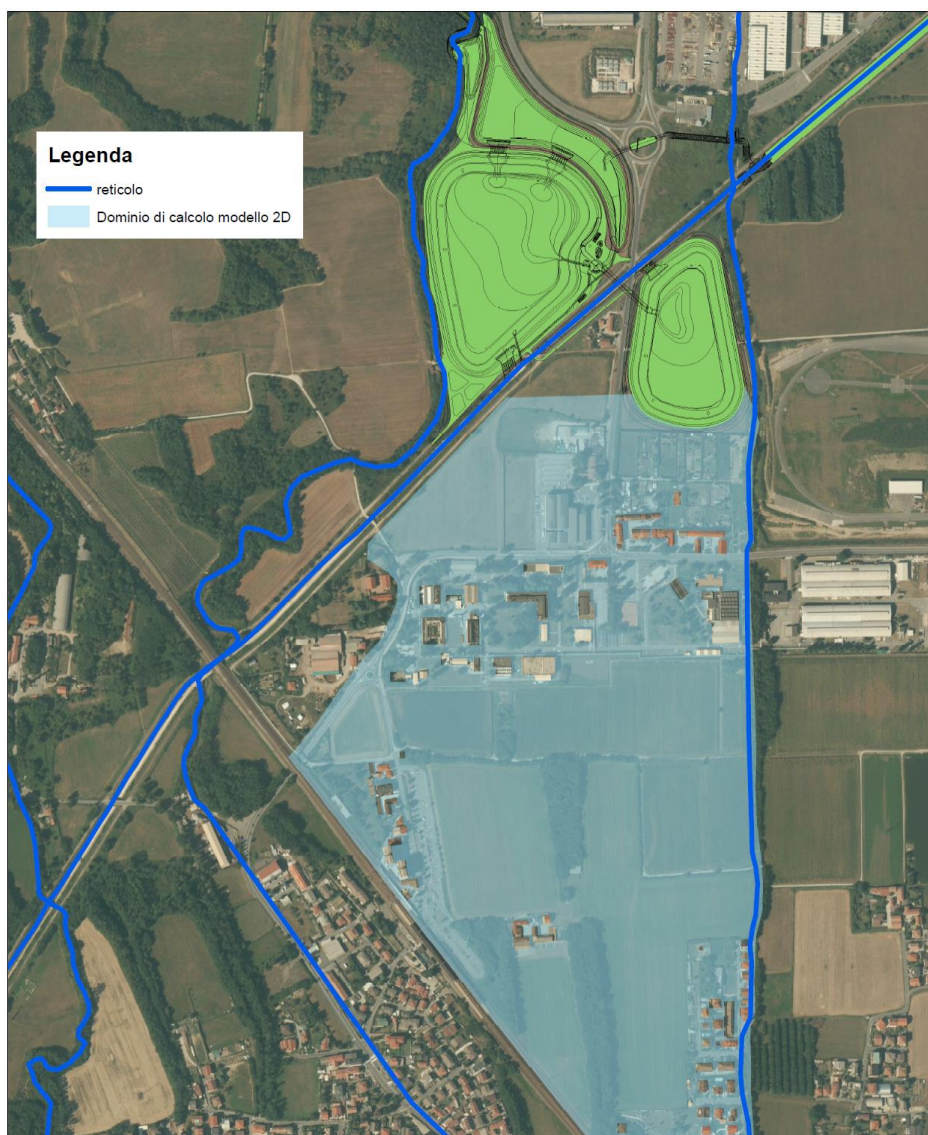


Figura 5 **Dominio di calcolo del modello 2D implementato**



Figura 6 Particolare della magliatura del modello 2D

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

Le simulazioni condotte hanno consentito di produrre delle mappe riportanti la progressione temporale degli allagamenti con l'indicazione dei rispettivi tiranti idrici.

Per quanto riguarda la propagazione dell'allagamento conseguente al collasso arginale, si evidenzia che la zona della Cascina Traversagna viene interessata dagli allagamenti praticamente dopo 20 minuti dal collasso, l'area della Solvay viene interessata dagli allagamenti in un tempo compreso tra 1 e 3 ore, il quartiere in via S. Pietro dopo circa 5 ore dal collasso e la parte nord dell'abitato di Bollate dopo circa 12 ore dal collasso dell'argine.

Di seguito si riportano alcune sequenze temporali degli allagamenti (per maggiori dettagli si

rimanda alle tavole allegate alla presente relazione in scala 1:5'000).

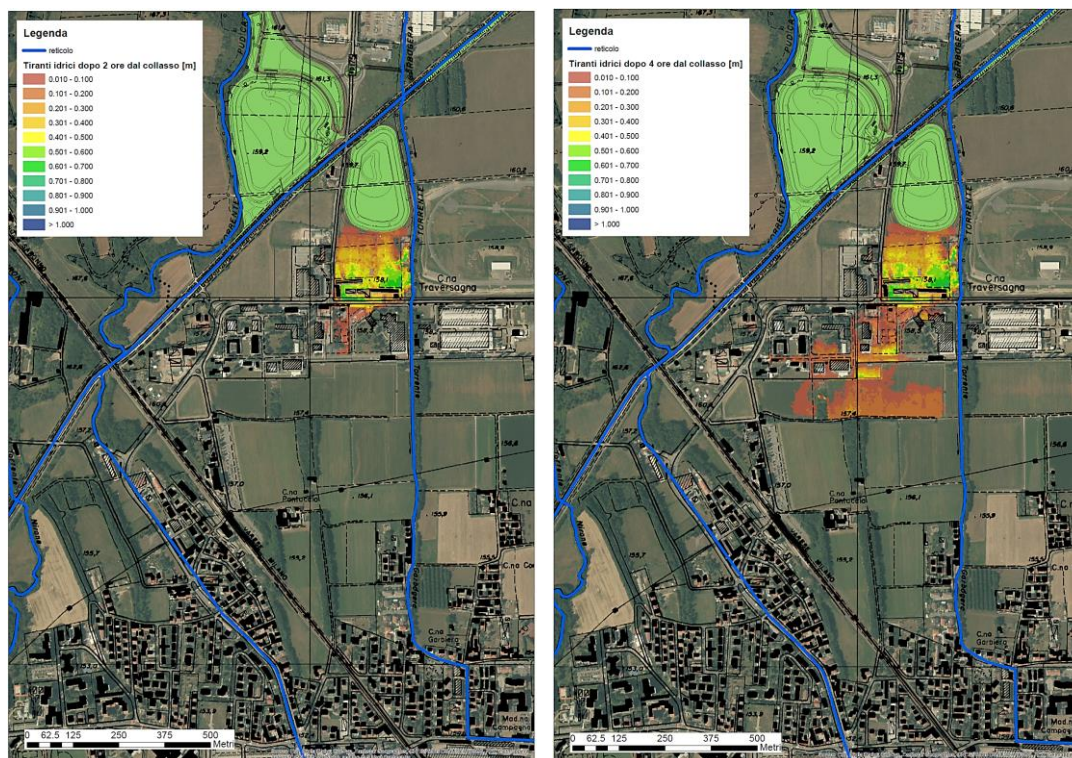


Figura 7 Aree allagabili dopo 2 ore (a sinistra) e dopo 4 ore (a destra) dal collasso

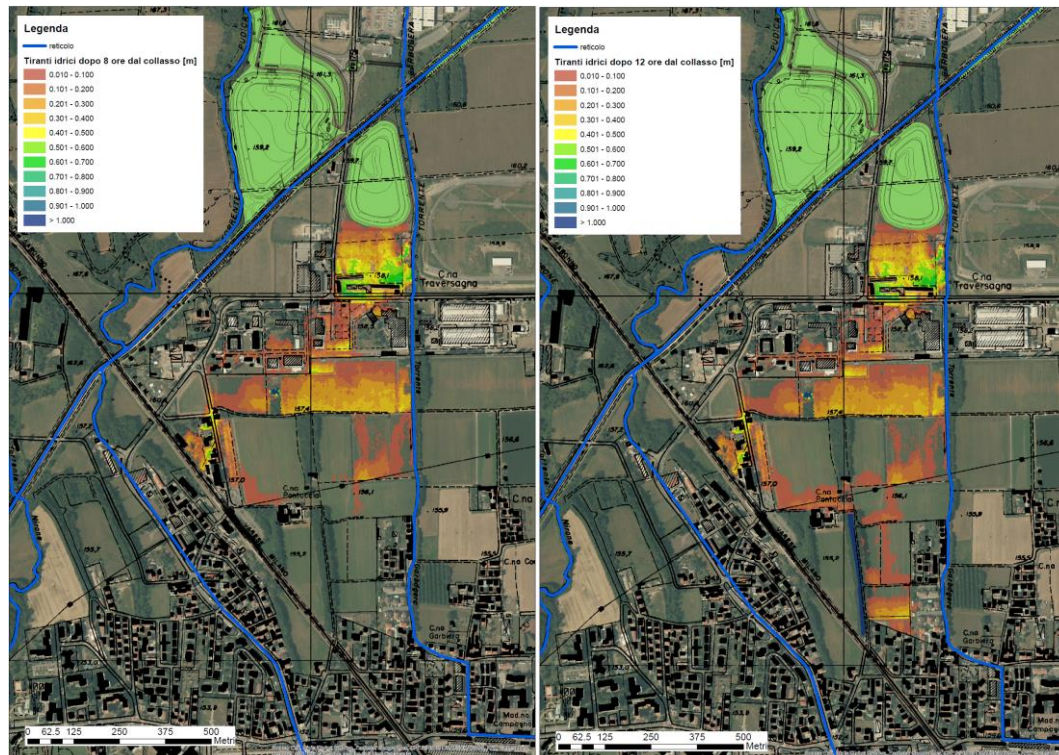


Figura 8 Aree allagabili dopo 8 ore (a sinistra) e dopo 12 ore (a destra) dal collasso

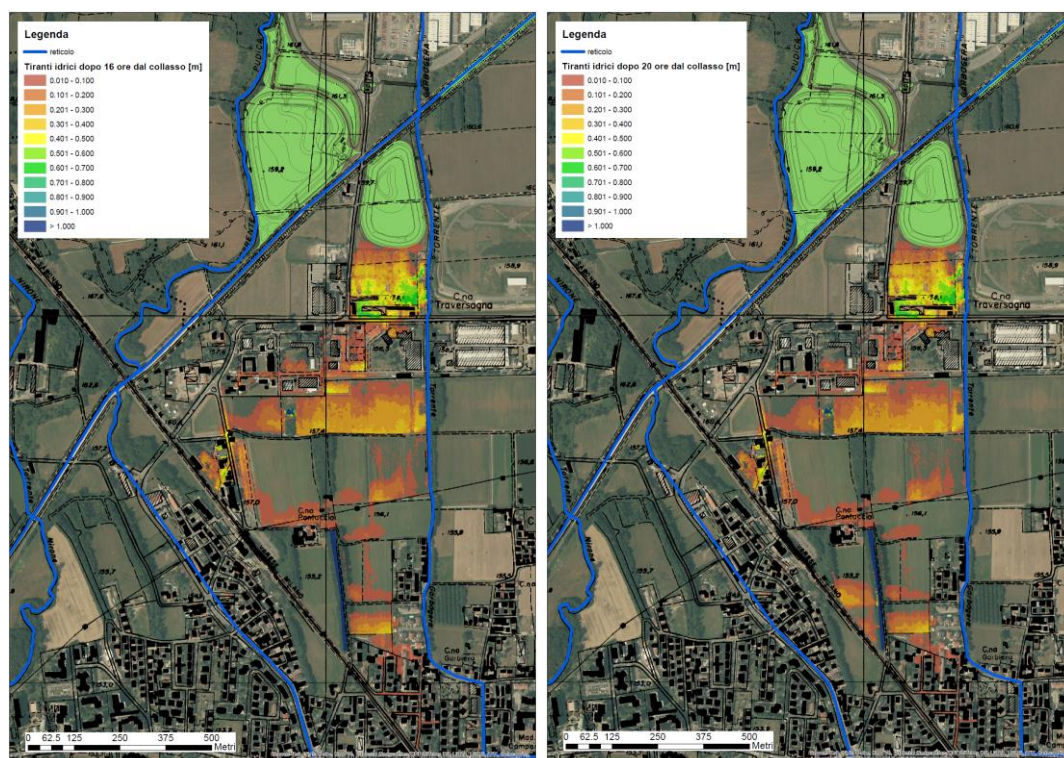


Figura 9 Aree allagabili dopo 16 ore (a sinistra) e dopo 20 ore (a destra) dal collasso

Ai fini della stesura del Piano di Protezione Civile, la rappresentazione della massima estensione di tali aree è stata tracciata su una cartografia (vedere cartografie allegate in scala 1:5'000), riportando su di essa le aree di egual valore dei tiranti idrici (v. Figura 10) e delle velocità idriche (v. Figura 12) nella condizione di massima espansione dell'inondazione.

I risultati ottenuti mostrano che le aree allagabili, che si formano in seguito ad un ipotetico collasso della parte sud del perimetro arginale del III settore della vasca di laminazione, interessano, oltre che alcune aree agricole, alcune aree urbanizzate, in particolare:

- l'abitato della Cascina Traversagna;
- le aree della fabbrica Solvay;
- il quartiere posto in prossimità della stazione di Bollate Nord, tra via S. Pietro e via Pignone;
- la Cascina Pontaccio;
- una porzione dell'abitato del Comune di Bollate, nella zona più a nord, compresa tra via De Amicis e la linea ferroviaria. In tale zona l'esondazione che interessa la viabilità può proseguire verso sud, ma con tiranti idrici ridotti.

Le aree allagabili che interessano le zone urbanizzate sono generalmente caratterizzate da tiranti idrici molto limitati (5 ÷ 15 cm) con velocità di scorrimento molto basse che non superano

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

praticamente mai il valore di 0,3 m/s; fanno eccezione alcune aree allagabili che presentano tiranti idrici di circa $50 \div 80$ cm poste in prossimità della Cascina Traversagna e della zona prossima a via S. Pietro che, comunque, sono caratterizzate da velocità di deflusso molto basse. Si specifica che il modello idraulico qui utilizzato non tiene in conto, cautelativamente, dell'infiltrazione che può verificarsi nelle aree allagabili che interessano aree agricole, che comporterebbe una diminuzione del volume idrico che prosegue verso valle e quindi una riduzione dell'estensione e delle altezze degli allagamenti soprattutto con riferimento alle aree urbanizzate prossime a via San Pietro e a via De Amicis.

In allegato si riportano tutte le mappe che contengono le informazioni utili ai fini della Protezione Civile (scala 1:5'000).

In particolare, nella Figura 10 sono riportate tutte le aree allagabili con indicazione del tirante massimo.

Nella Figura 11, invece, vengono riportate le stesse informazioni della figura precedente, ad esclusione delle aree allagabili caratterizzate da un tirante idrico inferiore a 10 cm, allo scopo di rappresentare in modo più evidente le zone interessate da allagamenti non trascurabili.

Infine, nella Figura 12 sono riportate le aree allagabili con indicazione della velocità di scorrimento dell'acqua.

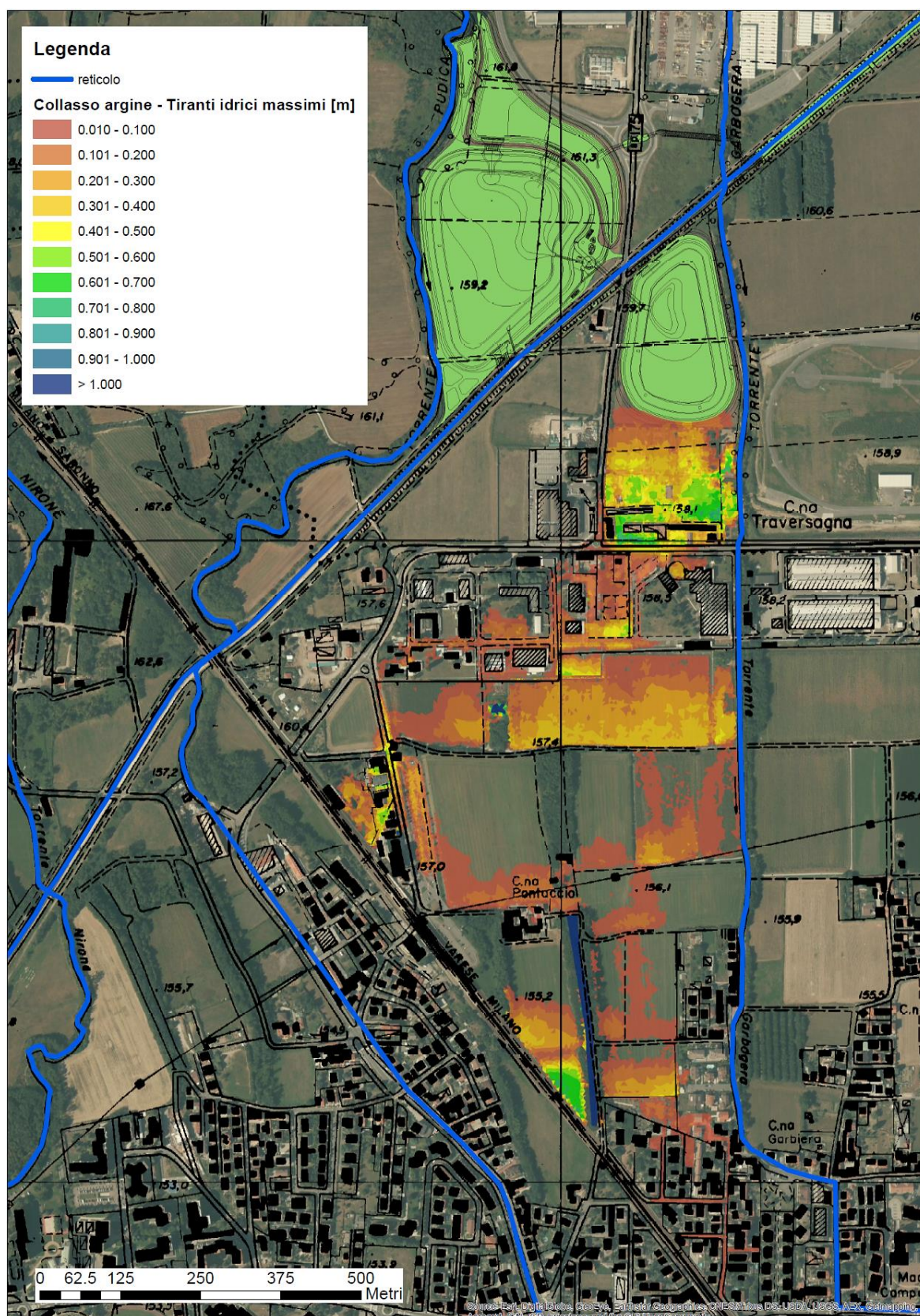


Figura 10 Involuppo delle aree allagabili con l'indicazione dei tiranti idrici massimi.



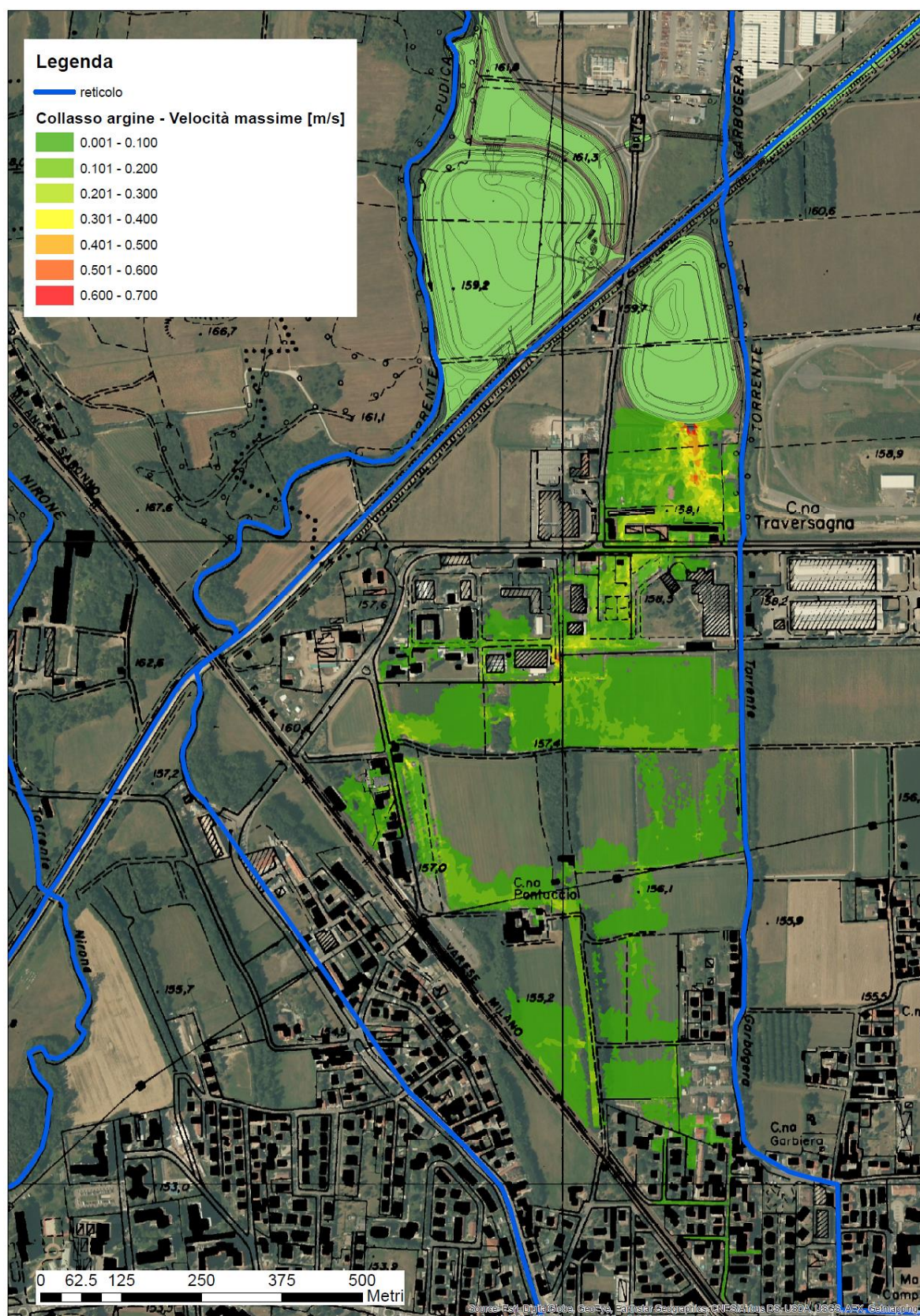


Figura 12 Involuppo delle aree allagabili con l'indicazione delle velocità idriche massime

5. ANALISI DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ E DI RISCHIO DI ESONDAZIONE

L'analisi della pericolosità e del rischio da esondazione deve essere effettuata in base ai contenuti dell'Allegato 4 *“Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio di esondazione”* del documento *“Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 comma 1, della L.R. 11 marzo 2005, n. 12”*, entrambi allegati alla D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011, pubblicati nel BURL del 19/01/2012.

In particolare, utilizzando i risultati di analisi idrauliche condotte con riferimento ad un evento di collasso dell'argine Sud del III settore della vasca di laminazione ed in funzione delle aree esondabili conseguenti, si può procedere alla delimitazione delle zone a diverso livello di pericolosità idraulica, sulla base, in particolare, dei tiranti idrici e delle velocità di scorrimento. Per la classificazione dei diversi livelli di pericolosità idraulica si fa riferimento al grafico seguente.

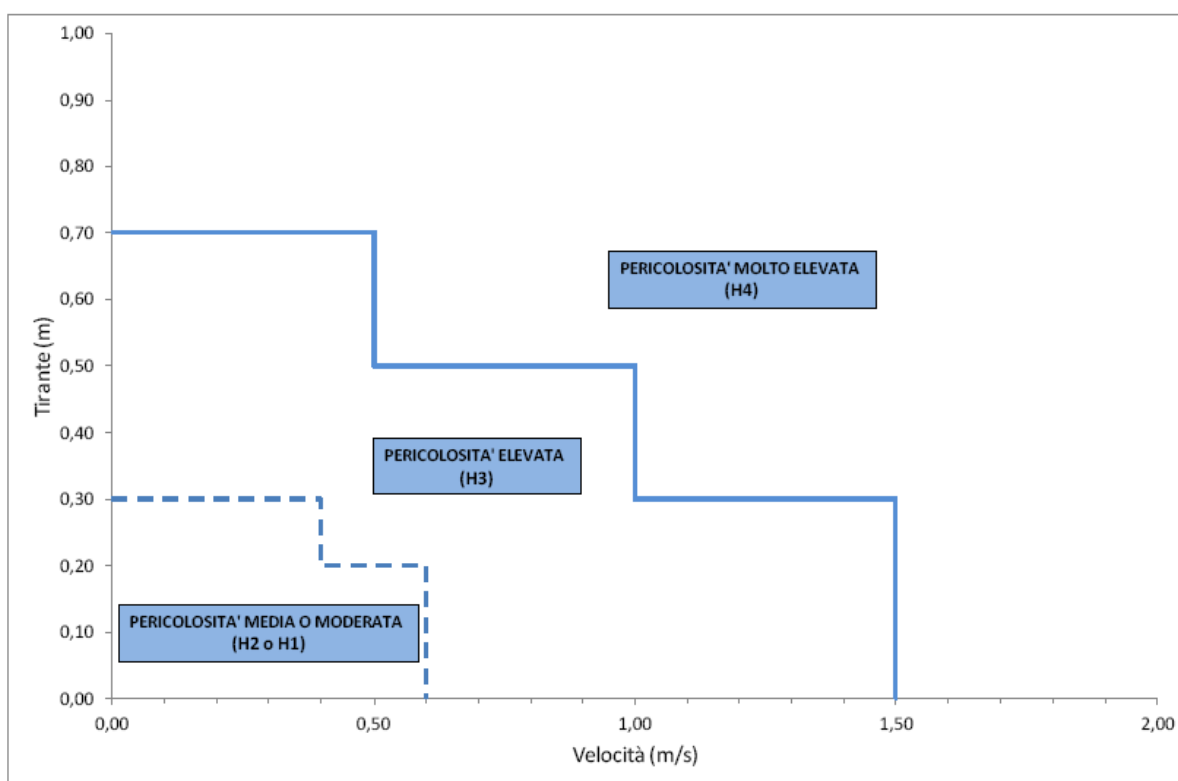


Figura 13 Definizione delle diverse classi di pericolosità da esondazione

Nella Figura 14 è riportata la zonazione della pericolosità da esondazione (per maggiori dettagli si rimanda alla cartografia allegata in scala 1:5'000).

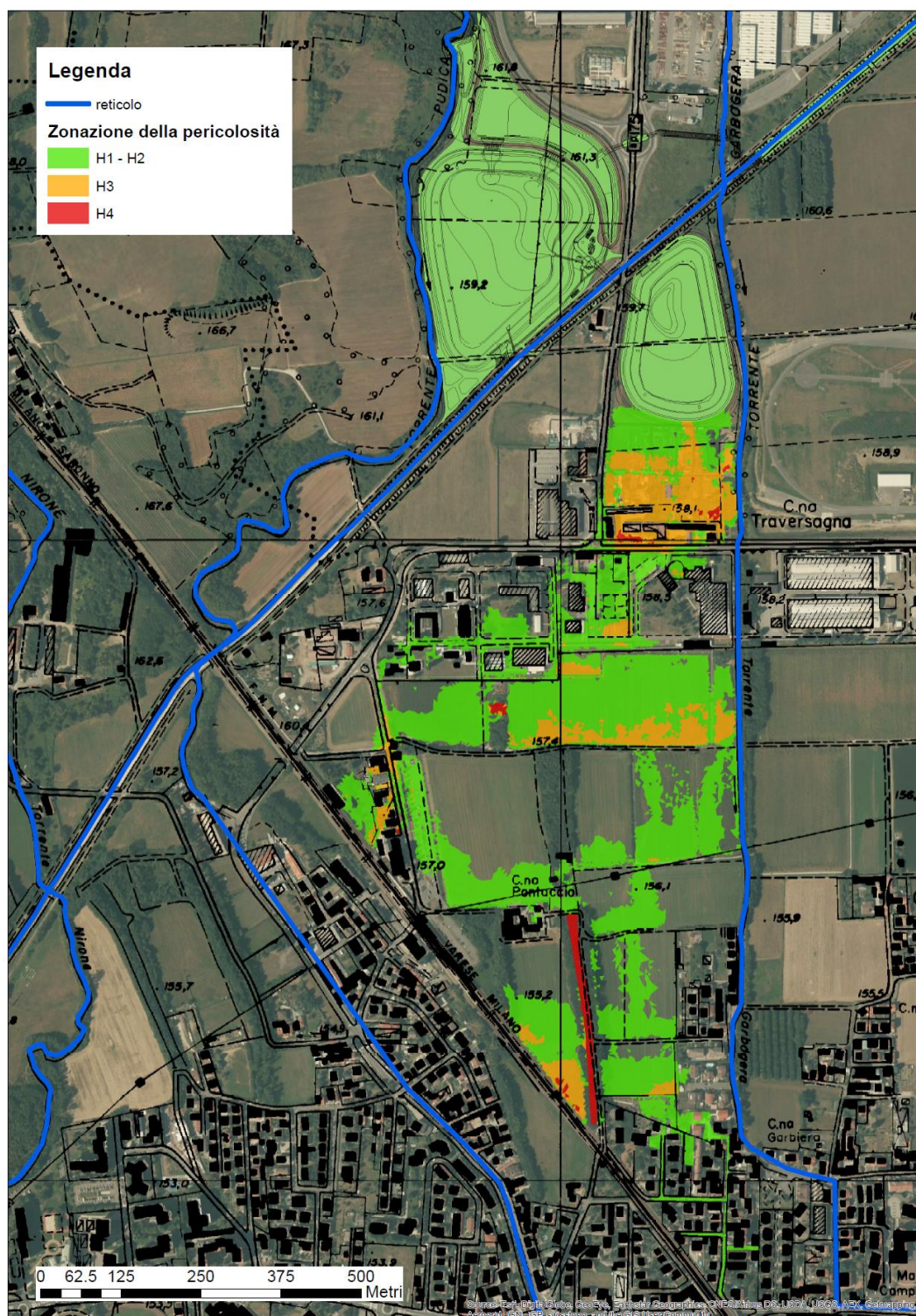


Figura 14 Zonazione della pericolosità da esondazione in seguito al collasso dell'argine

Nel caso specifico, per l'area allagabile posta a sud della vasca di laminazione ed in funzione dei risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche si evidenzia che la maggior parte delle aree, salvo alcune isolate situazioni, risultano essere in classe di pericolosità idraulica H1/H2 e H3. Le aree classificate come H1/H2 risultano essere predominanti lungo l'intera area allagabile, mentre le aree classificate come H3 sono presenti soprattutto in zone agricole ed in parte in prossimità degli orti e delle aree urbanizzate di Cascina Traversagna ed in prossimità del quartiere di via S. Pietro.

In alcuni punti isolati di limitate estensioni, per lo più situati in aree verdi o agricole, si riscontra la presenza di tiranti idrici superiori a 0,70 m per cui la classe di pericolosità idraulica risulta essere H4.

La fascia classificata con H4 a sud della Cascina Pontaccia è costituita da un alveo di un antico fontanile, all'interno del quale si instaurano tiranti idrici superiori ad 1 m.

Partendo dalle aree a diversa pericolosità idraulica si procede a una suddivisione in zone a diverso livello di rischio, la cui quantificazione viene effettuata mettendo in relazione la pericolosità (H), l'entità degli elementi a rischio - o danno potenziale - (E) e la vulnerabilità degli stessi (V) secondo la relazione di natura qualitativa: $R = H \times E \times V$.

Siccome l'area in esame è costituita in gran parte da aree agricole di tipo seminativo e da aree urbanizzate ed in parte produttive, le classi di danno potenziale di riferimento sono pari rispettivamente a E1 e E4, in relazione a quanto disposto dalla normativa vigente.

Ponendo (a favore di sicurezza) la vulnerabilità V pari a 1, il rischio idraulico deriva dall'intersezione di pericolo e danno potenziale, come di seguito riportato:

	H4	H3	H2	H1
E4	R4	R4	R2	R2
E3	R3	R3	R2	R1
E2	R2	R2	R1	R1
E1	R1	R1	R1	R1

Pertanto, in base a quanto sopra riportato si ha che:

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- nelle zone urbanizzate e produttive, caratterizzate da una classe di danno pari a E4, come le aree urbanizzate di Cascina Traversagna, della Solvay, del quartiere in via S. Pietro e della zona nord di Bollate, la classe di rischio è pari rispettivamente a R4 nelle aree con classe di pericolosità idraulica H3 ed a R2 nelle aree con classe di pericolosità idraulica H2 o H1;
- nelle zone agricole, caratterizzate da una classe di danno pari a E1, la classe di rischio è pari ovunque a R1 sia nelle aree con classe di pericolosità idraulica H3 che in quelle caratterizzate da una classe di pericolosità idraulica H2 o H1.

In conclusione si osserva che la quasi totalità dell'aree allagabili rientrano nella classe di rischio idraulico da esondazione pari a R1/R2, mentre le aree caratterizzate da una classe di rischio R4 sono costituite dalla porzione urbanizzata di Cascina Traversagna e da una parte del quartiere posto in prossimità di via S. Pietro.

Milano, maggio 2015

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Mario Spada

Dott. Ing. Chiara Tonetto

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

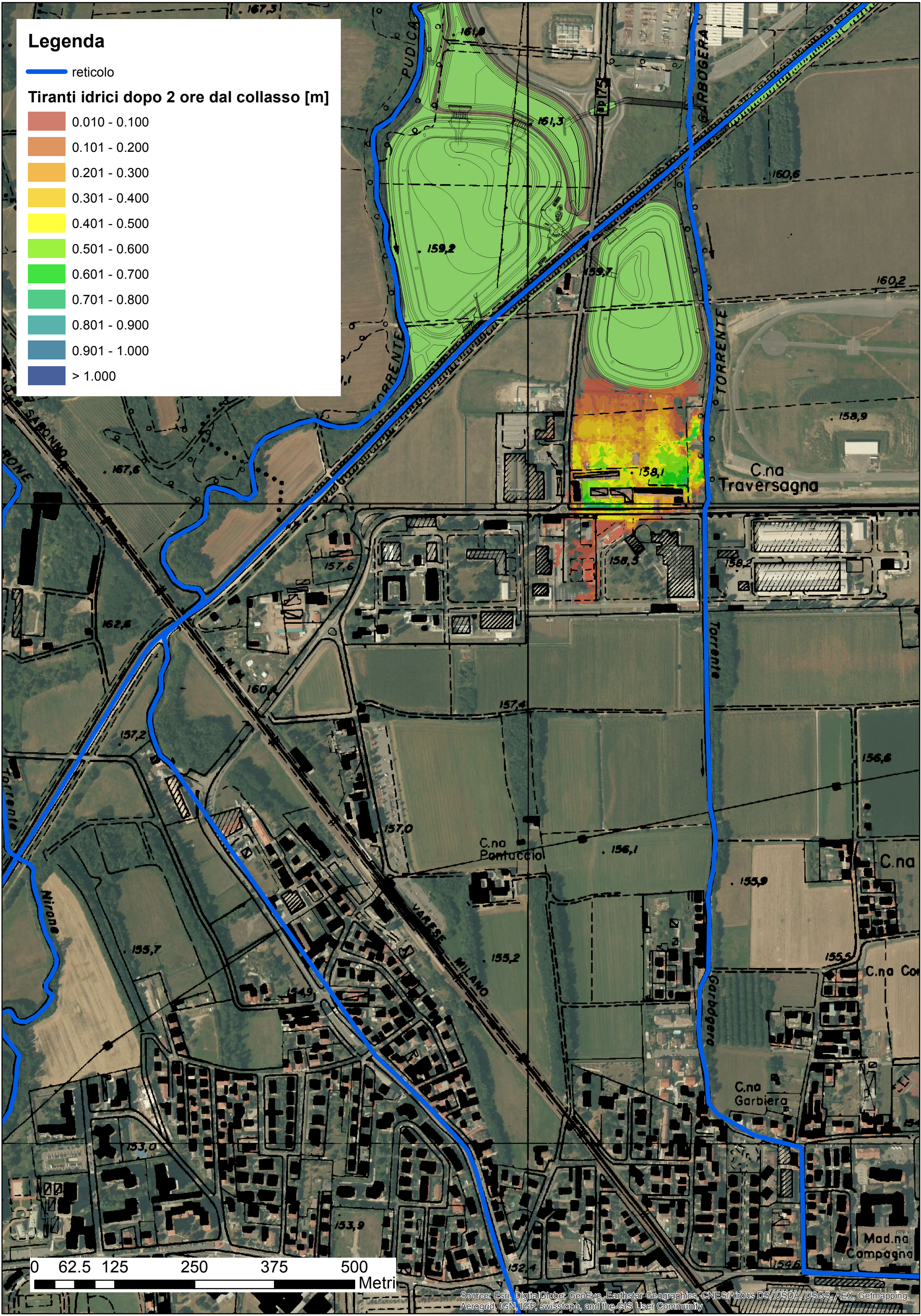
6. ALLEGATI CARTOGRAFICI

Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 2 ore dal collasso [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

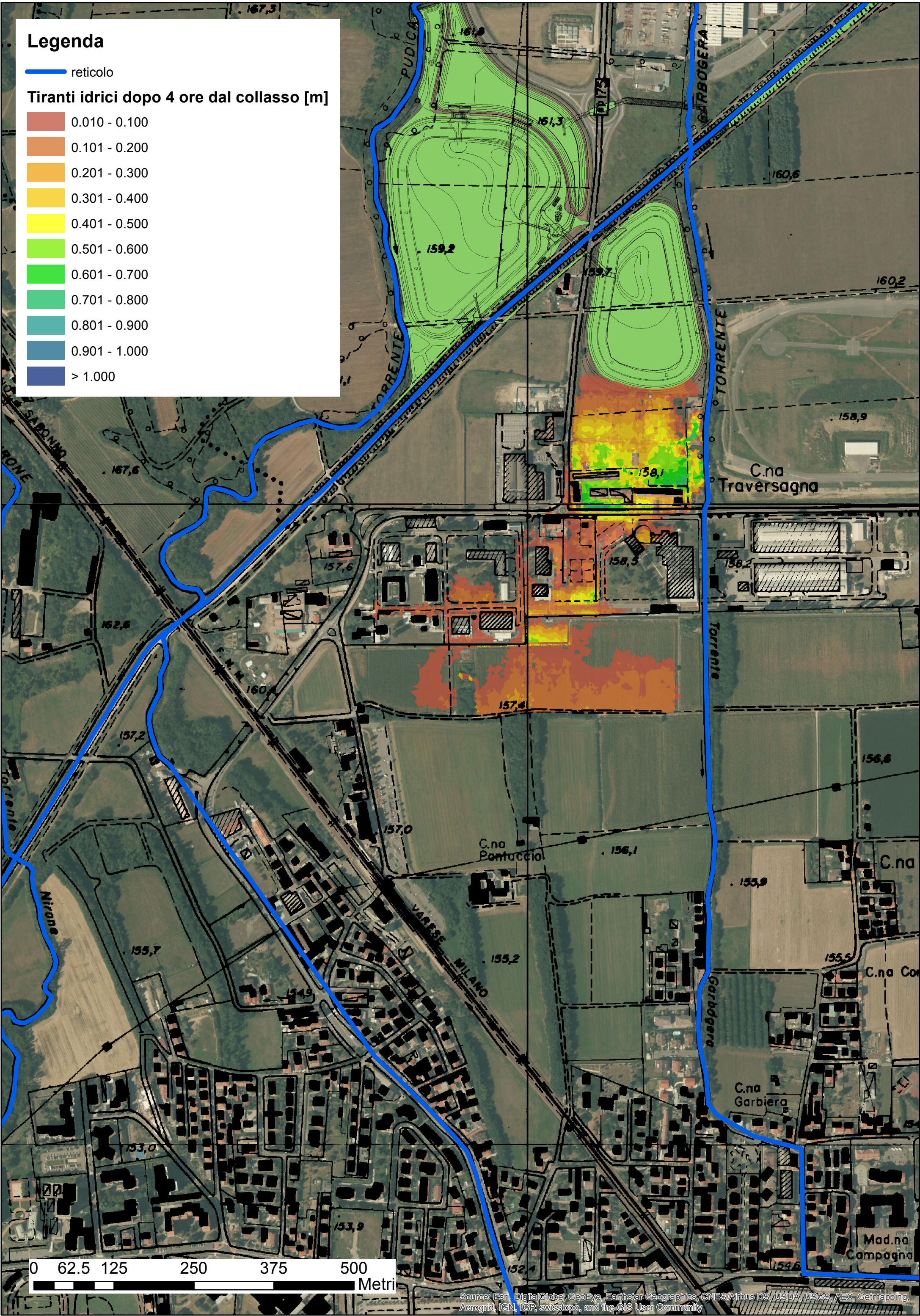


Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 4 ore dal collasso [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

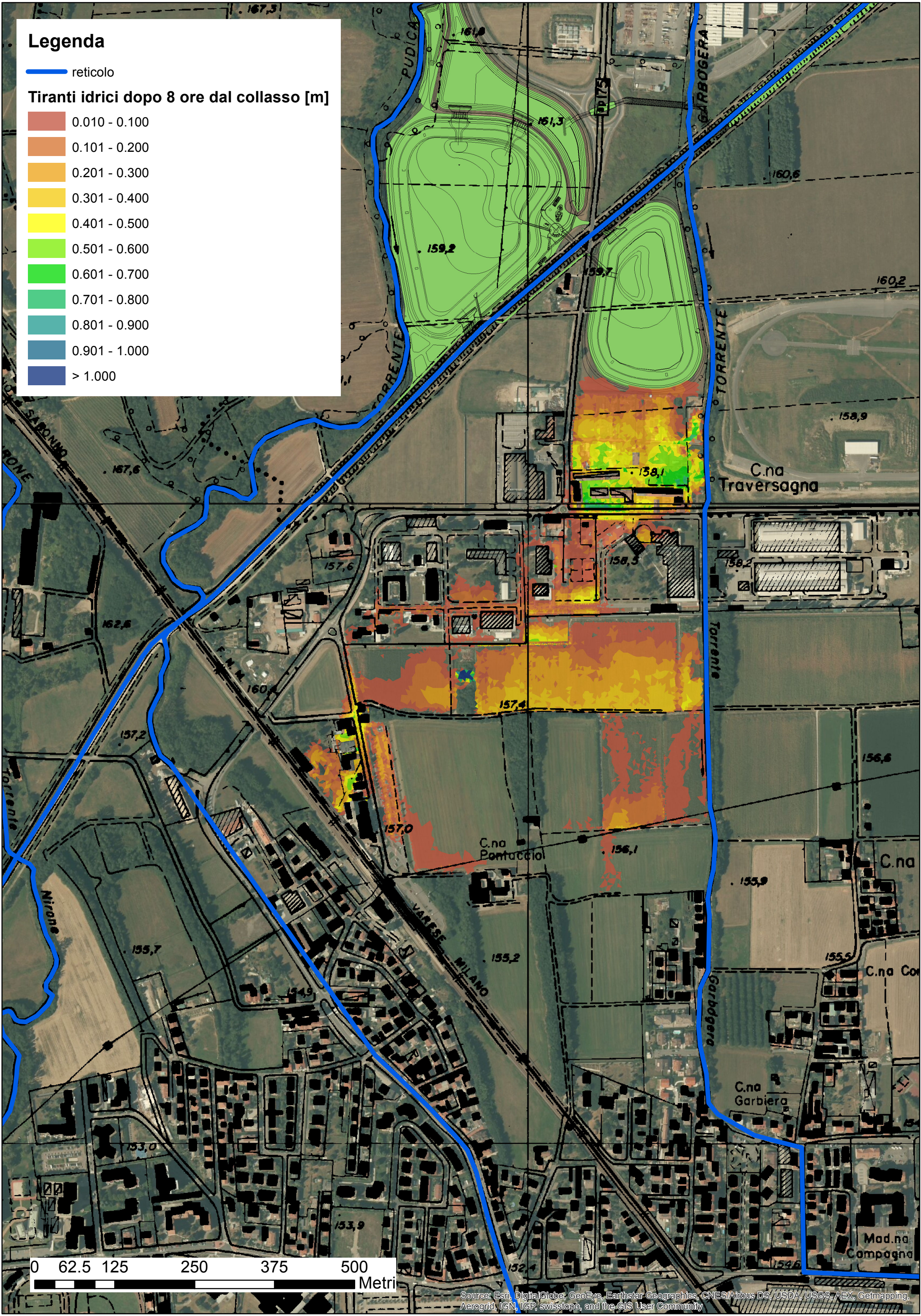


Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 8 ore dal collasso [m]

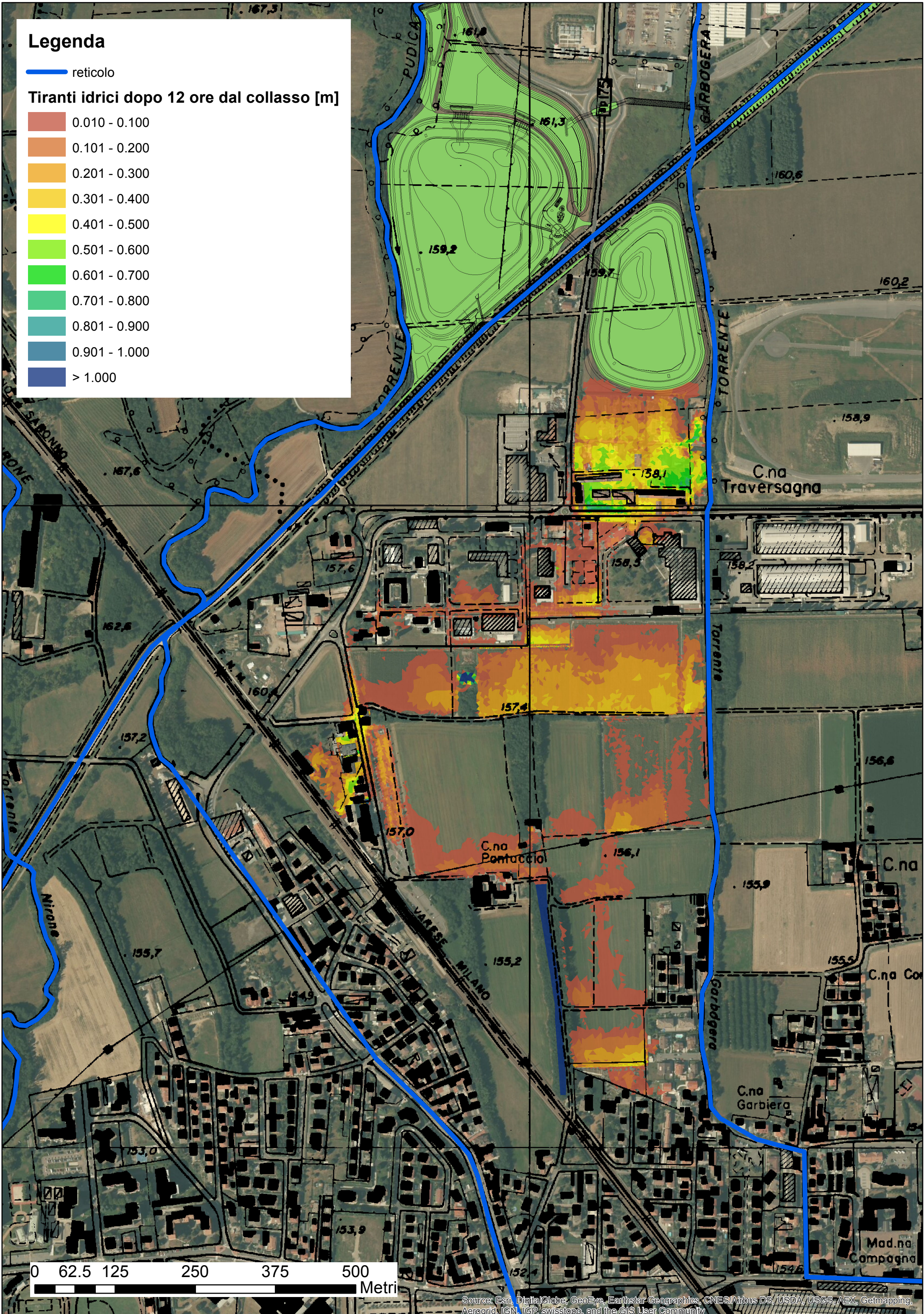
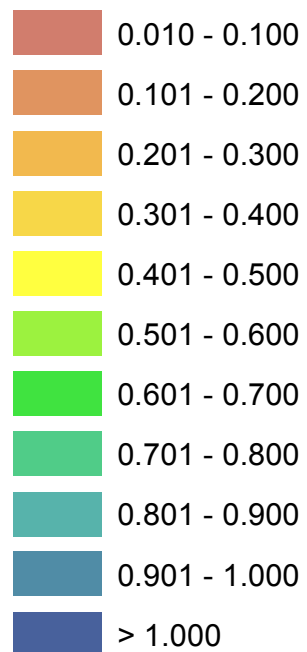
- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000



Legenda

— reticolo

Tiranti idrici dopo 12 ore dal collasso [m]



0 62.5 125 250 375 500 Metri

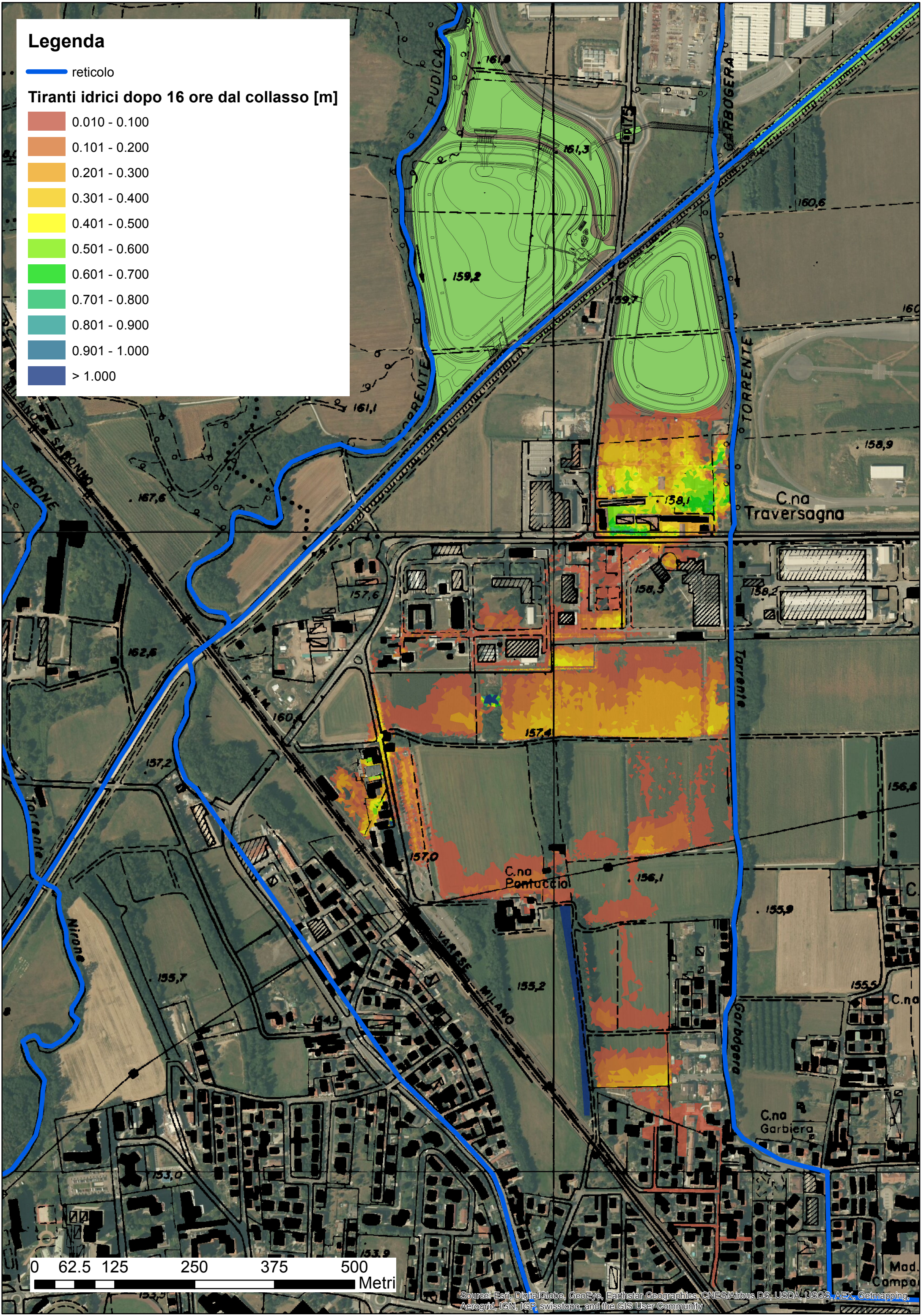
Source: Esri, DigitalGlobe, GeoEye, Earthstar Geographics, CNES/Airbus DS, USDA, USGS, AEX, Getmapping, Aerogrid, IGN, IGP, swisstopo, and the GIS User Community

Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 16 ore dal collasso [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

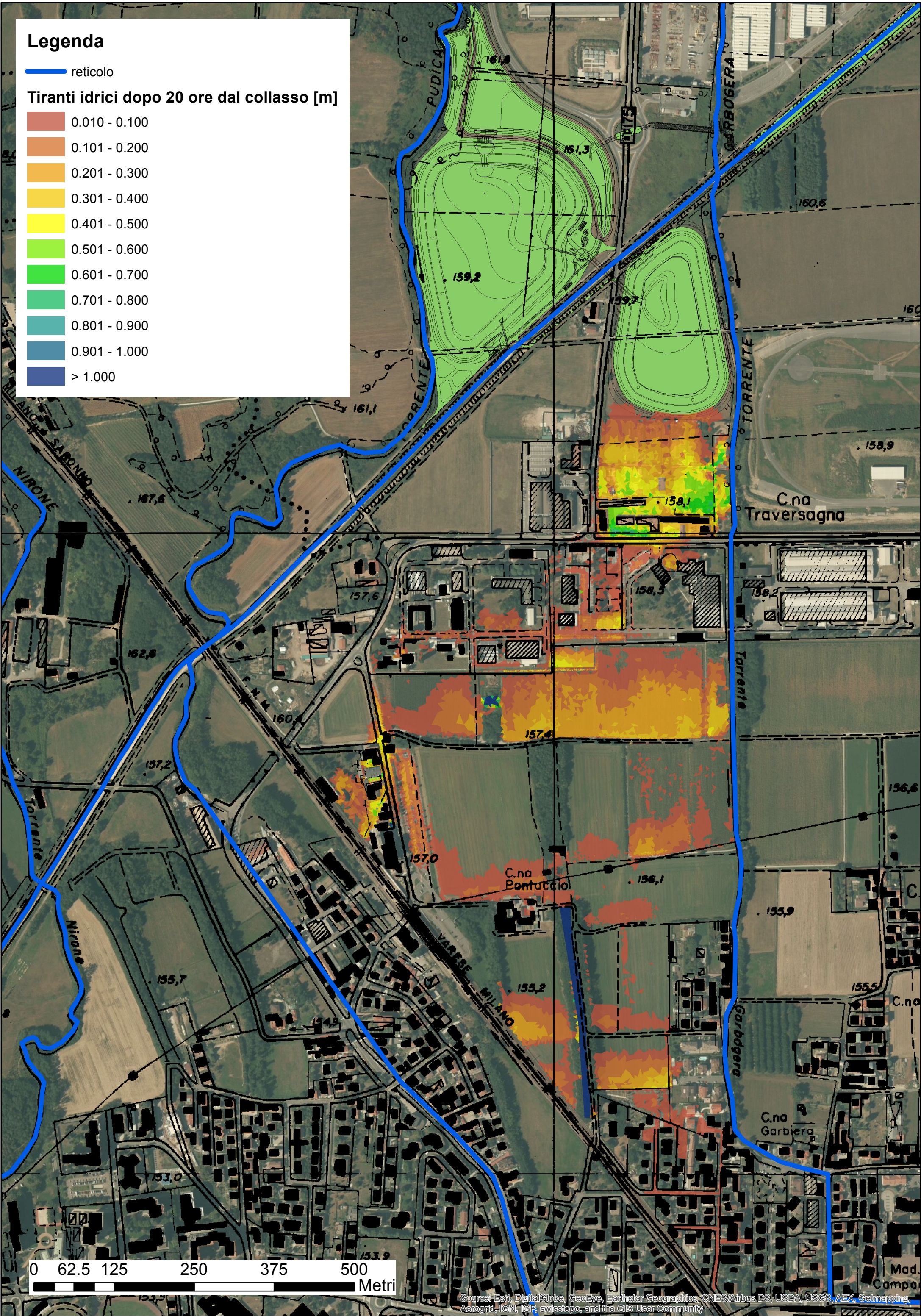


Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 20 ore dal collasso [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

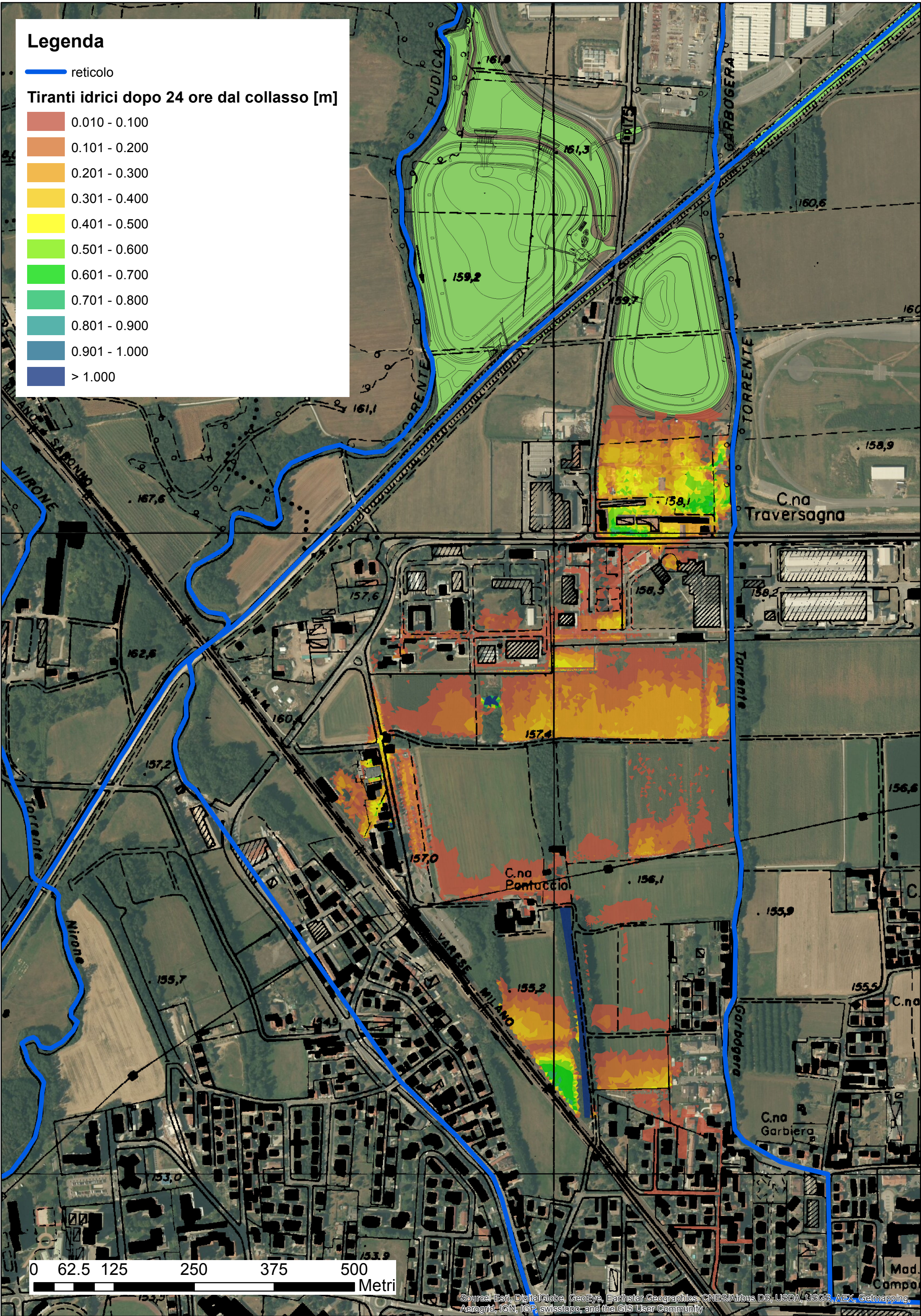


Legenda

reticolo

Tiranti idrici dopo 24 ore dal collasso [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

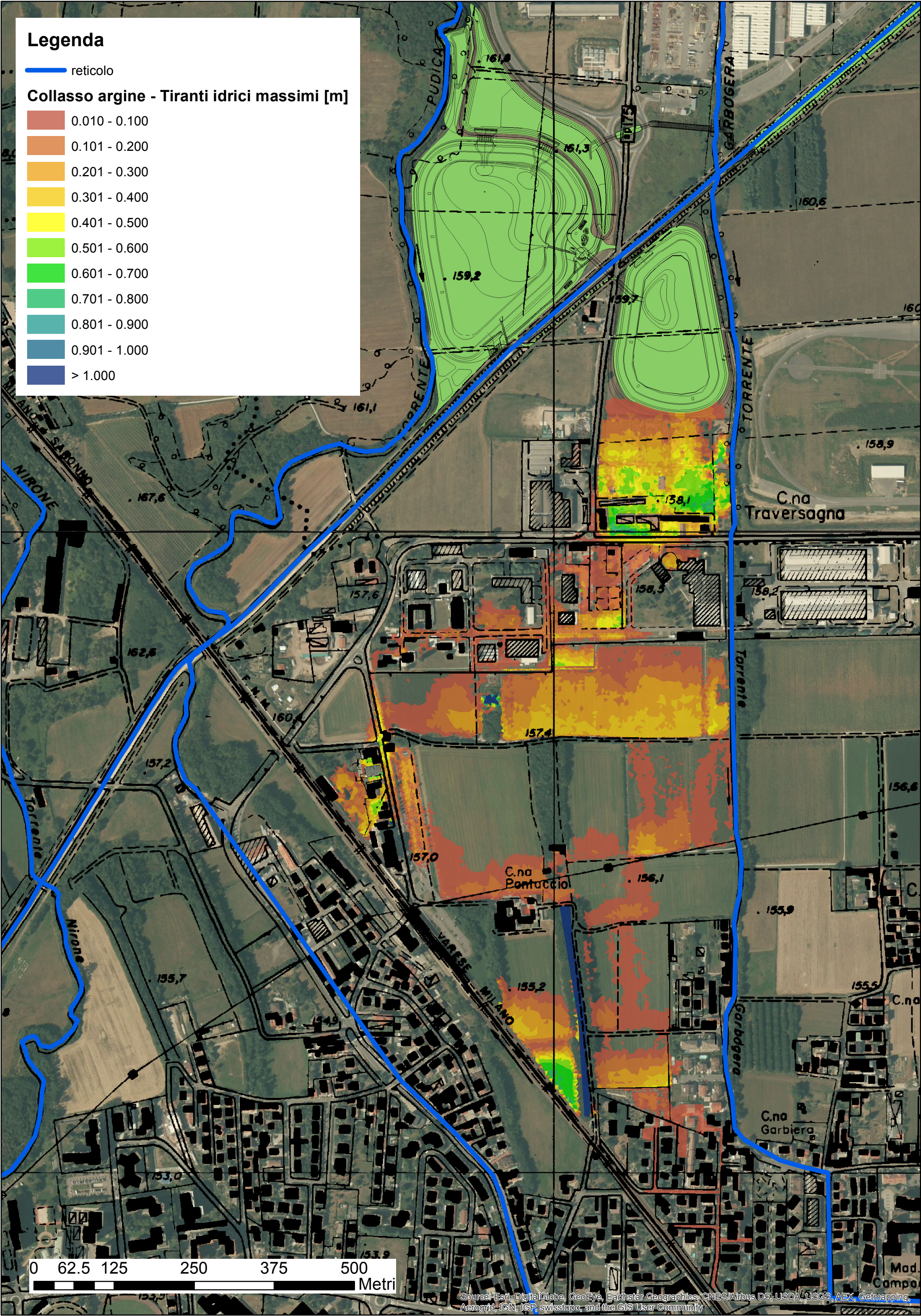


Legenda

reticolo

Collasso argine - Tiranti idrici massimi [m]

- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

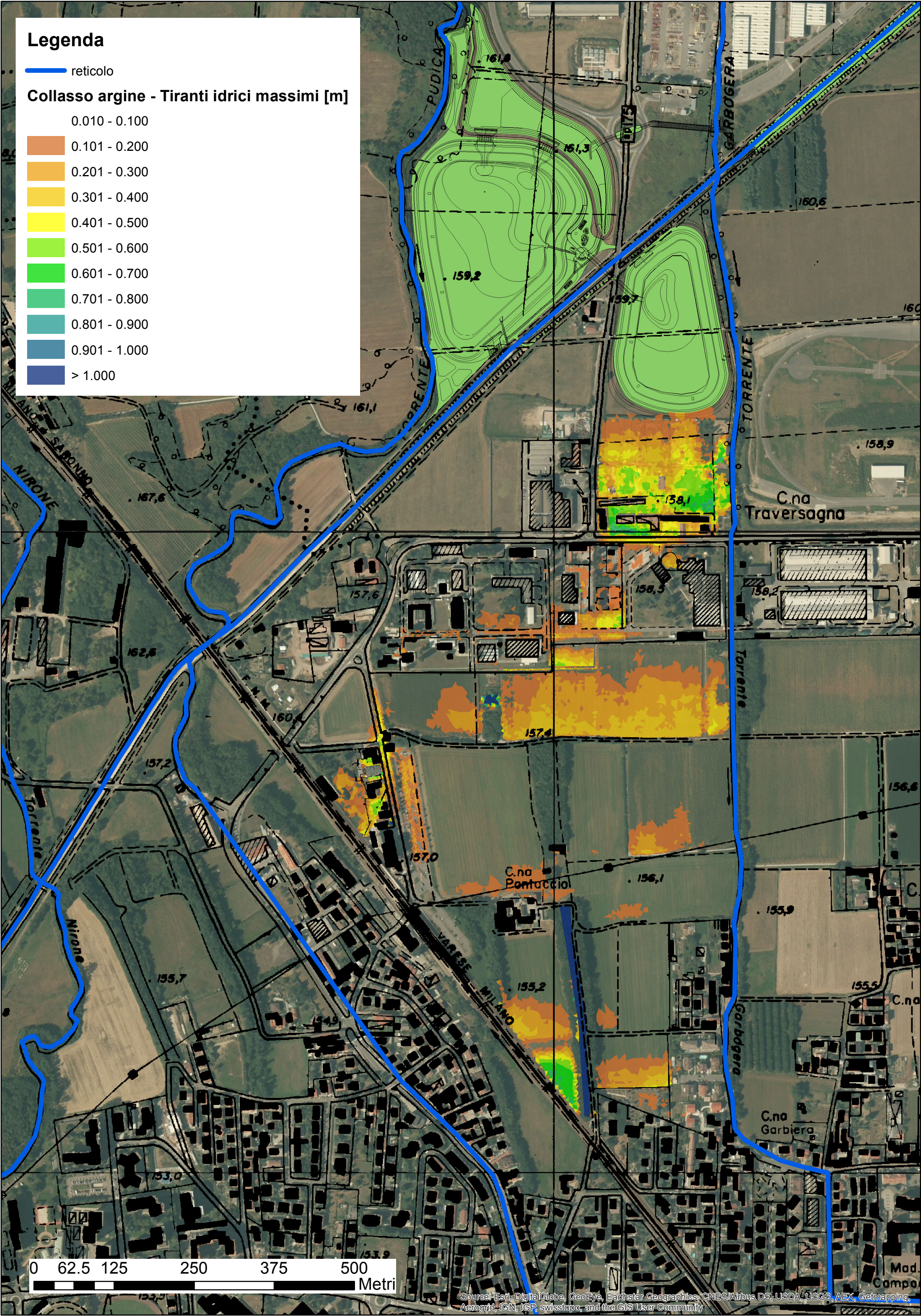


Legenda

reticolo

Collasso argine - Tiranti idrici massimi [m]








- 0.010 - 0.100
- 0.101 - 0.200
- 0.201 - 0.300
- 0.301 - 0.400
- 0.401 - 0.500
- 0.501 - 0.600
- 0.601 - 0.700
- 0.701 - 0.800
- 0.801 - 0.900
- 0.901 - 1.000
- > 1.000

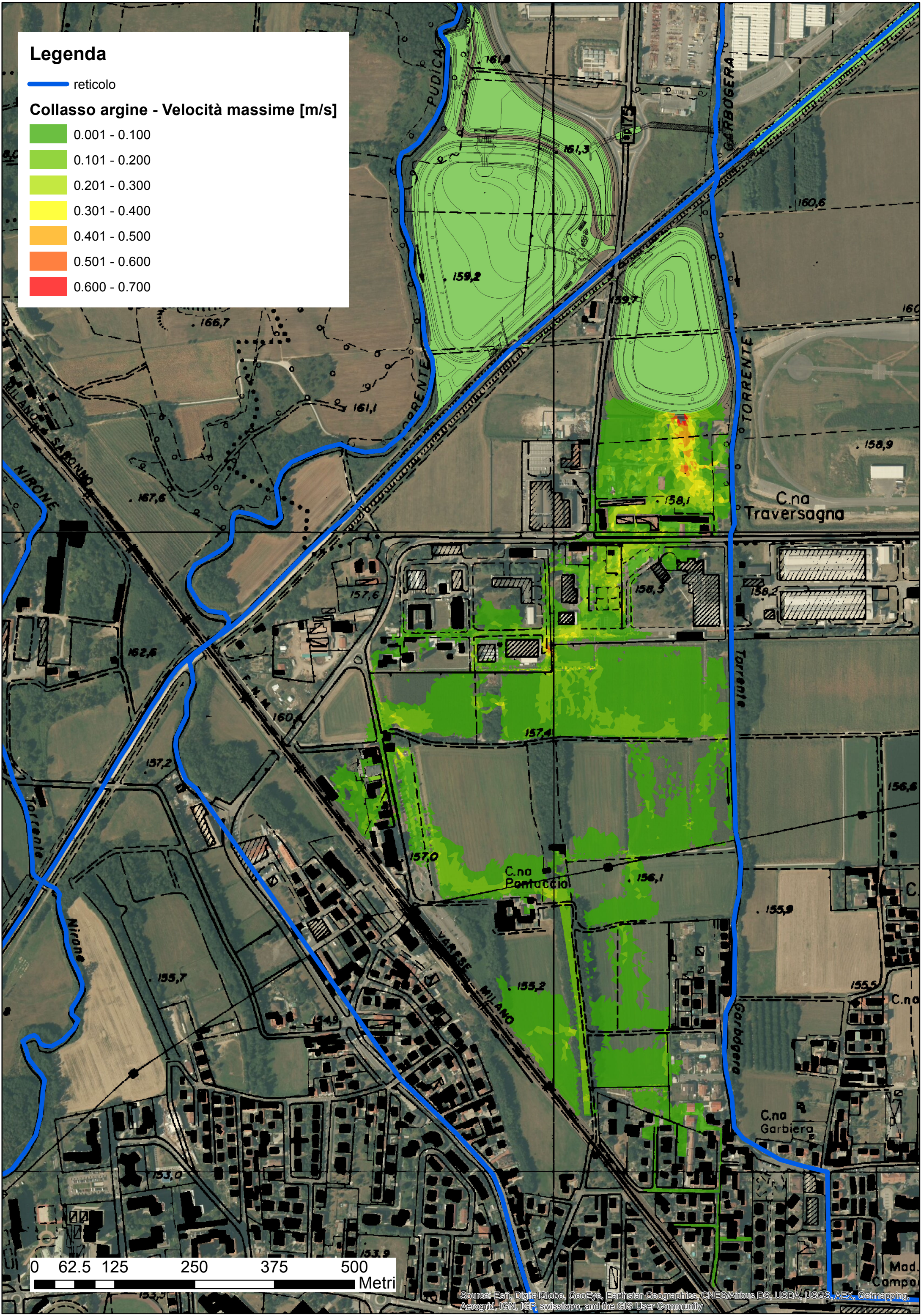


Legenda

 reticolo

Collasso argine - Velocità massime [m/s]

-  0.001 - 0.100
-  0.101 - 0.200
-  0.201 - 0.300
-  0.301 - 0.400
-  0.401 - 0.500
-  0.501 - 0.600
-  0.600 - 0.700



Legenda

— reticolo

Zonazione della pericolosità

■ H1 - H2

■ H3

■ H4

