

## FIUME CHERIO

# AREA DI ESONDAZIONE CONTROLLATA DELLE PIENE DEL FIUME CHERIO DI MOLINO DEI FRATI NEI COMUNI DI TRESORE BALNEARIO E ZANDOBBIO (BG)

BG.E.22.M

## PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

### RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDAZIONE	VERIFICA
00	PRIMA EMISSIONE	febbraio 2018	Ing. S. Croci	Ing. A. Paoletti
01				

RUP

Dott. Ing. Marco La Veglia

ATI:

#### MANDATARIO

**RAFFAELLO CATTANEO** | **LANDSCAPE AND ARCHITECTURE**  
 architetto e paesaggista

24069 TRESORE B. (BG) - via S. Ambrogio, 11  
 tel. 035945310, fax 035945310  
 E-Mail studio@architetturaepaesaggio.info

Dott. Arch. RAFFAELLO CATTANEO

#### MANDANTI

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



20133 MILANO - via Bassini, 23  
 tel. 0226681264, fax 0226681553  
 E-Mail: etatec@etatec.it

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI  
 Dott. Ing. STEFANO CROCI



24126 BERGAMO - via Montale, 15  
 tel. 035312200  
 E-Mail: ydros@ydros.it

Dott. Ing. GIOVANNI PEZZUCCHI



Archeo Studi  
 Bergamo s.r.l.

24129 BERGAMO - via della Fara, 15  
 tel. 0352816562  
 E-Mail: archeostudibg@gmail.com

Dott.ssa MARIAGRAZIA VITALI



**HATTUSAS**  
 consulenze nel vasto campo  
 della geologia e dell'ambiente

24060 CASTELLI CALEPIO (BG) - via Roma, 37  
 tel. 0354425112  
 E-Mail info@hattusas.it

Dott. Geol. FABIO MASSIMO PLEBANI  
 Dott. Geol. ANDREA GRITTI



**ECOGEO s.r.l.**  
 TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE



24122 BERGAMO - Via F.lli Calvi, 2  
 tel. 035271155  
 E-Mail: info@ecogeo.net

Dott. Geol. DIEGO MARSETTI

#### CONSULENTI

Dott. For. STEFANO ENFISSE  
 Dott. Arch. GIOVANNI MAZZA  
 Dott. Nat. GIAMBATTISTA RIVELLINI

NUMERO

A.3.1

SCALA

-

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Idros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

## INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE GENERALI DEL FIUME CHERIO .....	3
2.1	PREMESSA .....	3
2.2	ASSETTO ATTUALE .....	3
3.	ANALISI IDRAULICA DEL F. CHERIO MEDIANTE IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE.....	15
3.1	PREMESSA .....	15
3.2	IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO BIDIMENSIONALE A FONDO FISSO .....	15
3.2.1	Ipotesi di calcolo e condizioni al contorno .....	15
3.2.2	Caratterizzazione geometrica dell'alveo oggetto della modellazione .....	23
3.3	SIMULAZIONI CONDOTTE CON IL MODELLO BIDIMENSIONALE E RISULTATI OTTENUTI	24
3.4	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON RIFERIMENTO AI MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO.....	42
4.	DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA IDRAULICO DELLE OPERE IN PROGETTO .....	44
4.1	GENERALITÀ .....	44
4.2	AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “CALVAROLA” .....	44
4.3	AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “BRIGNOLI” .....	49
4.4	AREA DI ESPANSIONE GOLENALE “MACINA” .....	54
4.5	AREA DI ESPANSIONE GOLENALE “RADICI” .....	56
4.6	AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “MOLINO DEI FRATI” .....	58
5.	VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO NEI CONFRONTI DEI TERRITORI DI VALLE .....	66



A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

## 1. PREMESSA

La presente relazione espone le principali caratteristiche idrologico-idrauliche del F. Cherio, con particolare riferimento al tratto che si sviluppa in Comune di Trescore Balneario e le principali valutazioni condotte nel presente progetto di fattibilità tecnico-economica relativamente al sistema delle aree di laminazione previste, con particolare riferimento ai calcoli di dimensionamento dei diversi manufatti idraulici presenti.

Relativamente all'assetto idrologico-idraulico generale di tale corso d'acqua, le analisi di seguito esposte si basano essenzialmente sui contenuti dello *“Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio”*, dell'Autorità di bacino del fiume Po (da qui in poi indicato con la sigla *studio-AdBPo*).

Per l'assetto idraulico di dettaglio, invece, nell'ambito del presente progetto è stato implementato un modello idraulico bidimensionale a fondo fisso per l'intero tratto fluviale interno al Comune di Trescore Balneario.

La presente relazione è articolata nel seguente modo:

- nel capitolo 2 vengono presentate le caratteristiche idrologico-idrauliche generali del fiume Cherio;
- nel capitolo 3 viene presentato il modello idraulico bidimensionale implementato nell'ambito del presente progetto di fattibilità tecnico-economica, con riferimento sia all'assetto attuale che all'assetto di progetto;
- nel capitolo 4 vengono presentati i calcoli di dimensionamento idraulico delle diverse opere che costituiscono le aree di laminazione in progetto.

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

## 2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE GENERALI DEL FIUME CHERIO

### 2.1 PREMESSA

Quanto esposto nel presente capitolo è stato estratto dallo “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio*”, dell’Autorità di bacino del fiume Po (da qui in poi indicato con la sigla *studio-AdBPo*), sia con riferimento all’assetto attuale sia all’assetto di progetto.

### 2.2 ASSETTO ATTUALE

Il Fiume Cherio si snoda lungo la Val Cavallina dal Lago di Endine a Trescore Balneario, a valle del quale si immettono i due affluenti più significativi: Torrente Tadone e Torrente Malmera; successivamente il Cherio attraversa un tratto di pianura fino alla confluenza nell’Oglio sottolacuale.

L’estensione complessiva del fiume tra il Lago di Endine e la confluenza in Oglio è di quasi 29 km.

Il territorio attraversato è densamente popolato e tocca i comuni di Spinone al Lago, Monasterolo del Castello, Casazza, Vigano S. Martino, Grone, Borgo di Terzo, Luzzana, Entratico, Trescore Balneario, Gorlago, Carrobbio degli Angeli, Bolgare, Calcinata, Palosco. Per lunghi tratti l’alveo risulta canalizzato, nel primo tratto anche rivestito. Dove non rivestito artificialmente, il letto del Cherio è prevalentemente ghiaioso-ciottoloso, con una pendenza variabile tra lo 0,5% e l’1,4%.

Il corso d’acqua del fiume Cherio può essere suddiviso in quattro tronchi omogenei in base alle caratteristiche del sistema territoriale e a quelle geomorfologiche proprie dell’asta fluviale (Figura 1):

- tronco 1: dal Lago di Endine a Trescore Balneario-Castello (CI04)
- tronco 2: da Trescore Balneario-Castello a Bolgare-Cascina Tezza (CI03)
- tronco 3: da Bolgare-Cascina Tezza a Palosco-Villa Gallinetti (CI02)

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

- tronco 4: da Palosco-Villa Gallinetti alla confluenza Oglio (CI01).

Il presente progetto si sviluppa tra la fine del primo tronco e l'inizio del secondo.

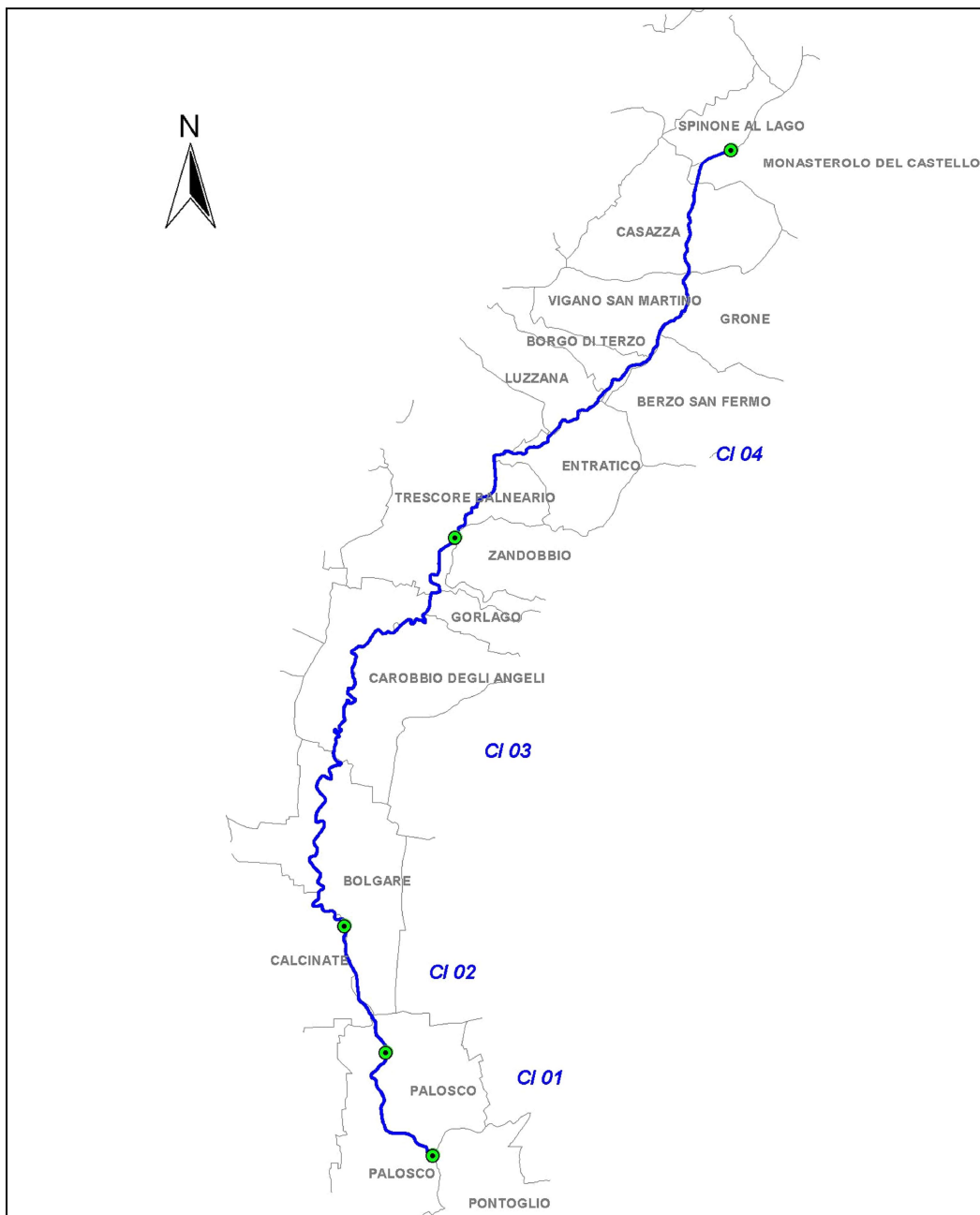


Figura 1 – Fiume Cherio: suddivisione in tronchi omogenei

**Tronco 1: dal Lago di Endine a Trescore Balneario-Castello (CI01)**

In tale tratto, che si sviluppa per una lunghezza di circa 11,3 km, il Cherio è caratterizzato da una bassa tortuosità e da una pendenza del fondo alveo dell'ordine dello 0,82%.

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

Il tessuto urbano è continuo con tipologie residenziali e commerciali generalmente molto vicine al corso d'acqua mentre sono assenti estese aree verdi in prossimità dell'alveo.

La principale infrastruttura, localizzata in destra idrografica a breve distanza dal corso d'acqua, è la SS n.42.

### **Tronco 2: da Trescore Balneario-Castello a Bolgare-Cascina Tezza (CI02)**

In questo tratto, che si sviluppa per una lunghezza di circa 12,5 km, la tortuosità del fiume è piuttosto rilevante e il fondo alveo ha una pendenza media dell'ordine dello 0,55%. All'interno del sistema territoriale si alternano aree urbanizzate (20%) e aree ad uso agricolo (70%)

### **Tronco 3: da Bolgare-Cascina Tezza a Palosco-Villa Gallinetti (CI03)**

In tale tratto, che si sviluppa per una lunghezza di circa 2,8 km, il fondo alveo ha una pendenza media di circa 0,64%. Si evidenzia la presenza di tipologie territoriali marcatamente rurali-naturali con assenza di zone urbanizzate.

### **Tronco 4: da Palosco-Villa Gallinetti alla confluenza Oglio (CI04)**

Il tale tratto, che si sviluppa per una lunghezza di circa 3,0 km, il fondo alveo ha una pendenza media di (0,63%). Il territorio è prevalentemente agricolo con un'urbanizzazione accentuata sulla sinistra idrografica.

Nell'ambito dello *Studio-AdBPo* è stato implementato un modello idraulico monodimensionale e quasi-bidimensionale, così caratterizzato:

- lunghezza totale: 28,9 km;
- numero sezioni naturali: 122;
- numero ponti: 39;
- numero salti di fondo: 10;
- altri manufatti: 1 tombinatura.

Attraverso il modello numerico sono state effettuate diverse simulazioni che hanno condotto all'individuazione degli idrogrammi di piena che nello stato attuale si formano in tutte le sezioni del Cherio e, contemporaneamente, dei profili idrici di moto vario per i tempi di ritorno di 2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni.

Di seguito sono riportati alcuni risultati delle elaborazioni condotte, utili alla descrizione del comportamento idraulico dell'asta, con riferimento ai diversi tratti in cui la stessa è stata suddivisa; in particolare nella successiva tabella vengono riportati i risultati dei calcoli

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>ldros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNICHE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

idraulici in termini di quota idrica massima (m s.m.) e portata massima in corrispondenza di alcune sezioni d'alveo significative, tra cui alcune all'interno del territorio di Trescore Balneario, oggetto del presente progetto di fattibilità tecnico-economica.

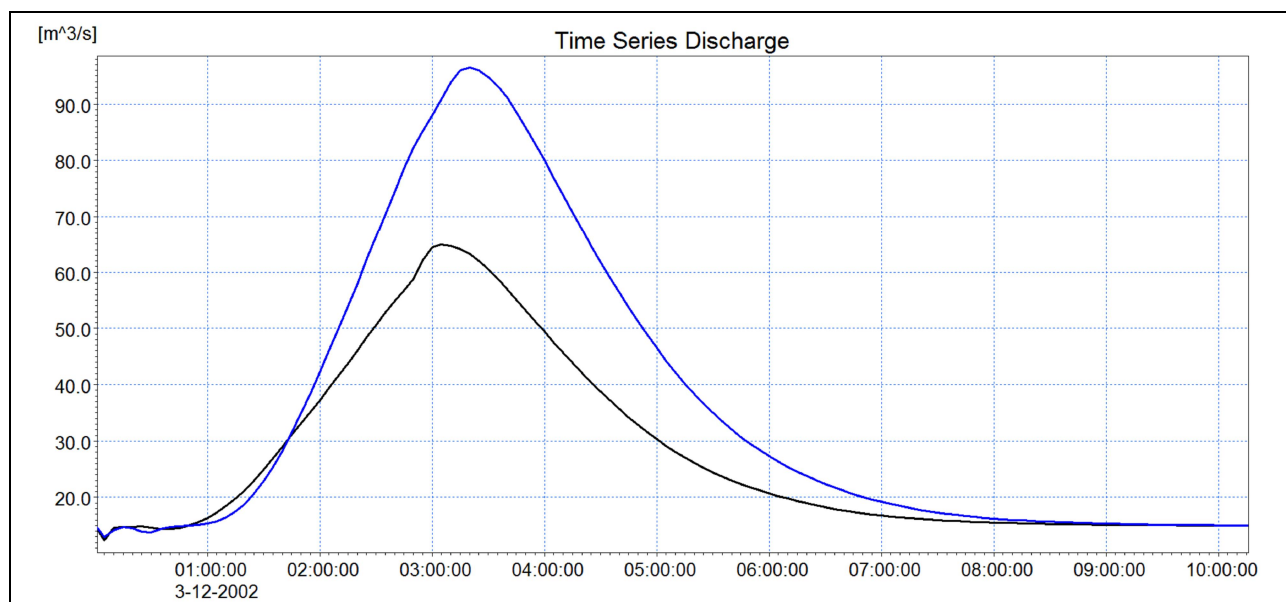
**Tabella 1 - Livelli idrici e portate al colmo in alcune sezioni del Cherio**

Sezione	Comune	Progr. (m)	TR 2		TR 10		TR 50	
			Livello (m)	Portata (m³/s)	Livello (m)	Portata (m³/s)	Livello (m)	Portata (m³/s)
129	Casazza	885	334,32	18,74	334,39	22,48	334,56	24,94
58	Casazza	1296	333,73	19,93	333,93	22,94	334,11	25,76
120	Casazza	1666	329,76	21,70	329,93	24,95	330,12	28,37
107	Vigano San Martino	3988	308,74	29,6	308,96	41,80	309,13	52,48
44A	Luzzana	6641	279,98	48,78	280,55	74,93	280,97	95,58
37	Trescore Balneario	9125	259,85	67,82	260,52	108,70	261,03	142,02
31	Trescore Balneario	10975	248,60	81,64	249,17	129,63	249,64	175,55
071	Trescore Balneario	11172	247,25	81,66	247,81	129,62	248,13	175,53
26	Gorlago	12909	238,52	100,99	239,16	137,88	239,45	154,36
23	Gorlago	14310	228,62	100,91	229,20	147,90	229,58	189,41
21	Gorlago	15153	224,23	101,29	225,15	145,51	226,03	189,69
19	Gorlago	15741	221,57	101,54	222,73	146,45	223,65	190,42
17	Carobbio/ Gorlago	16489	217,31	101,90	217,93	147,38	218,49	191,30
15	Bolgare	19551	201,59	103,42	202,39	150,07	202,93	175,35
13	Bolgare	20731	194,56	104,19	195,13	151,44	195,37	177,22
12	Bolgare	21038	193,56	104,14	194,36	155,33	194,80	177,22
2	Palosco	28025	147,83	103,87	148,37	153,21	148,74	187,28

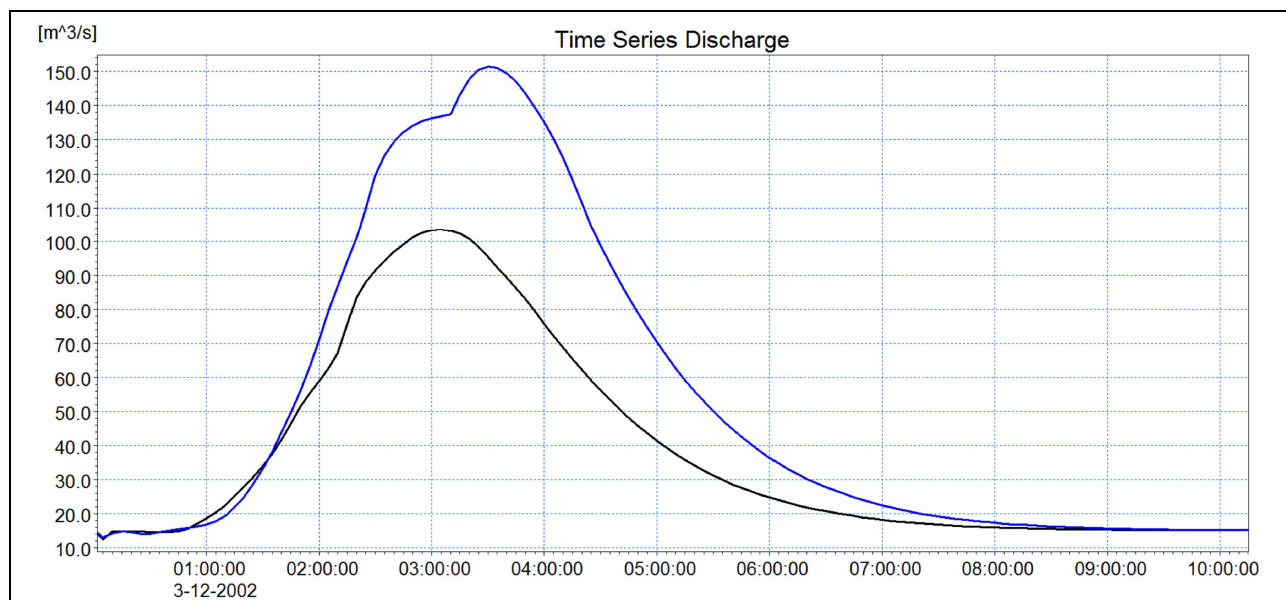
Sezione	Comune	Progr. (m)	TR 100		TR 200		TR 500	
			Livello (m)	Portata (m³/s)	Livello (m)	Portata (m³/s)	Livello (m)	Portata (m³/s)
129	Casazza	885	334,58	25,80	334,61	26,54	334,63	27,55
58	Casazza	1296	334,11	25,76	334,16	26,69	334,19	27,37
120	Casazza	1666	330,23	30,30	330,32	31,62	330,46	33,55
107	Vigano San Martino	3988	309,13	52,48	309,24	59,47	309,28	62,36
44A	Luzzana	6641	281,15	104,93	281,34	114,28	281,45	120,08
37	Trescore Balneario	9125	262,08	157,12	262,27	172,43	262,41	186,22
31	Trescore Balneario	10975	249,64	175,55	249,97	208,87	250,24	227,24
071	Trescore Balneario	11172	248,20	194,68	248,26	208,88	248,31	227,22
26	Gorlago	12909	239,59	162,12	239,71	168,95	239,81	174,75
23	Gorlago	14310	229,77	217,75	229,93	247,70	230,08	280,52
21	Gorlago	15153	226,54	216,62	226,79	240,33	226,97	264,04
19	Gorlago	15741	223,86	217,89	224,01	241,51	224,15	265,77
17	Carobbio/ Gorlago	16489	218,90	218,62	219,26	241,95	219,59	265,73
15	Bolgare	19551	203,61	209,10	204,09	233,86	204,56	258,44
13	Bolgare	20731	195,65	203,75	195,95	233,47	196,23	252,59
12	Bolgare	21038	195,18	199,45	195,54	220,41	195,70	229,79
2	Palosco	28025	148,74	187,28	149,46	230,96	149,93	250,14

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vari campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

Di seguito si riportano gli idrogrammi di piena in corrispondenza della sezioni del fiume Cherio in ingresso ed in uscita al territorio di Trescore Balneario, per i diversi valori del tempo di ritorno.

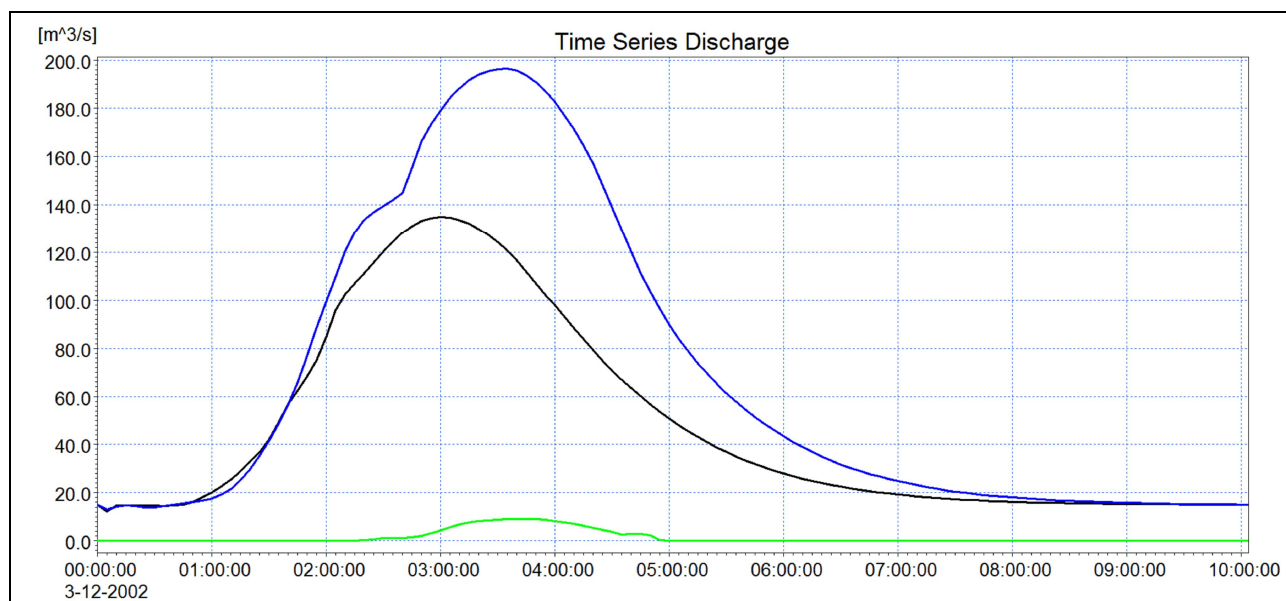


**Figura 2 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu) al territorio di Trescore Balneario per T=2 anni**

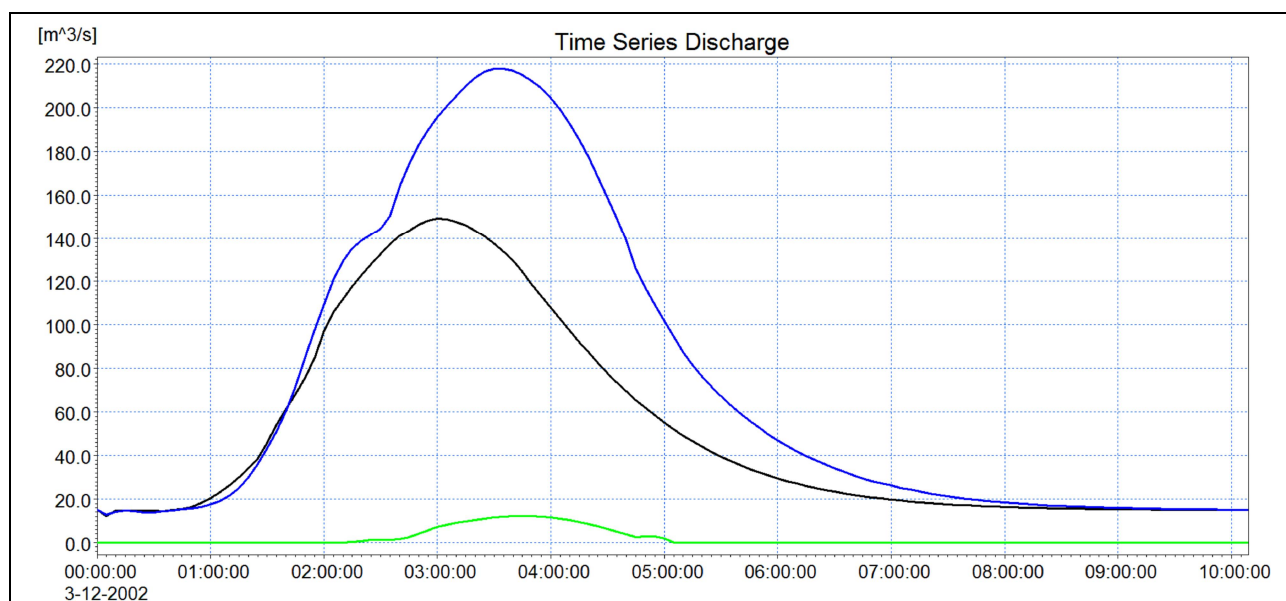


**Figura 3 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu) al territorio di Trescore Balneario per T=10 anni**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



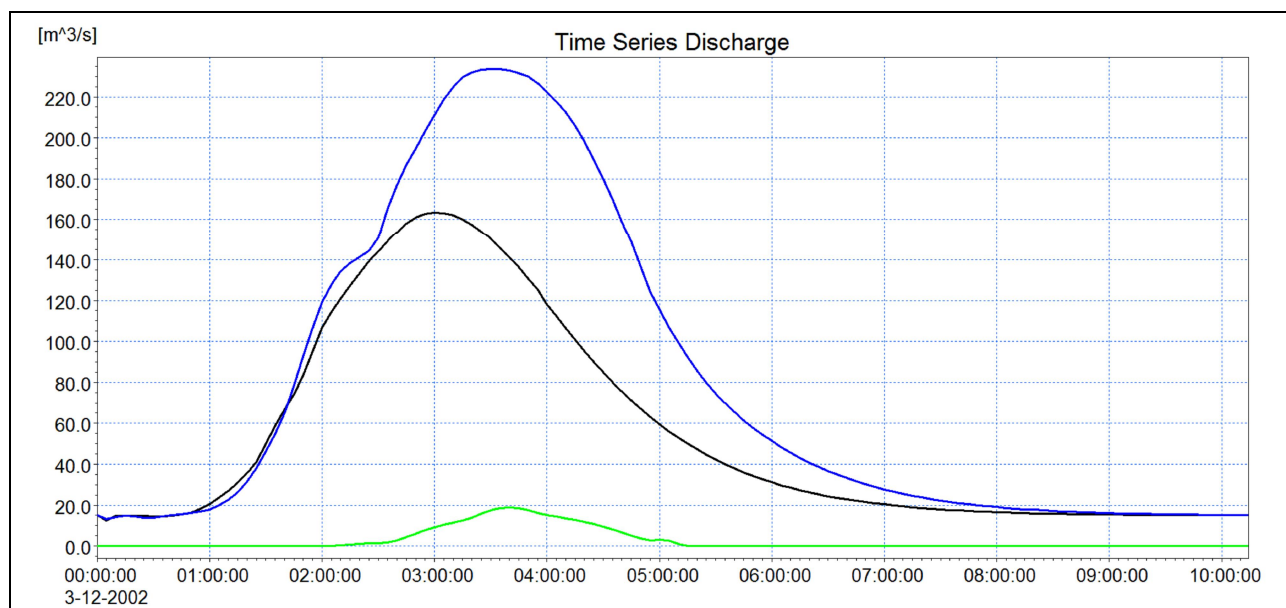
**Figura 4 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu + linea verde relativa alla portata defluente in area allagabile) al territorio di Trescore Balneario per T=50 anni**



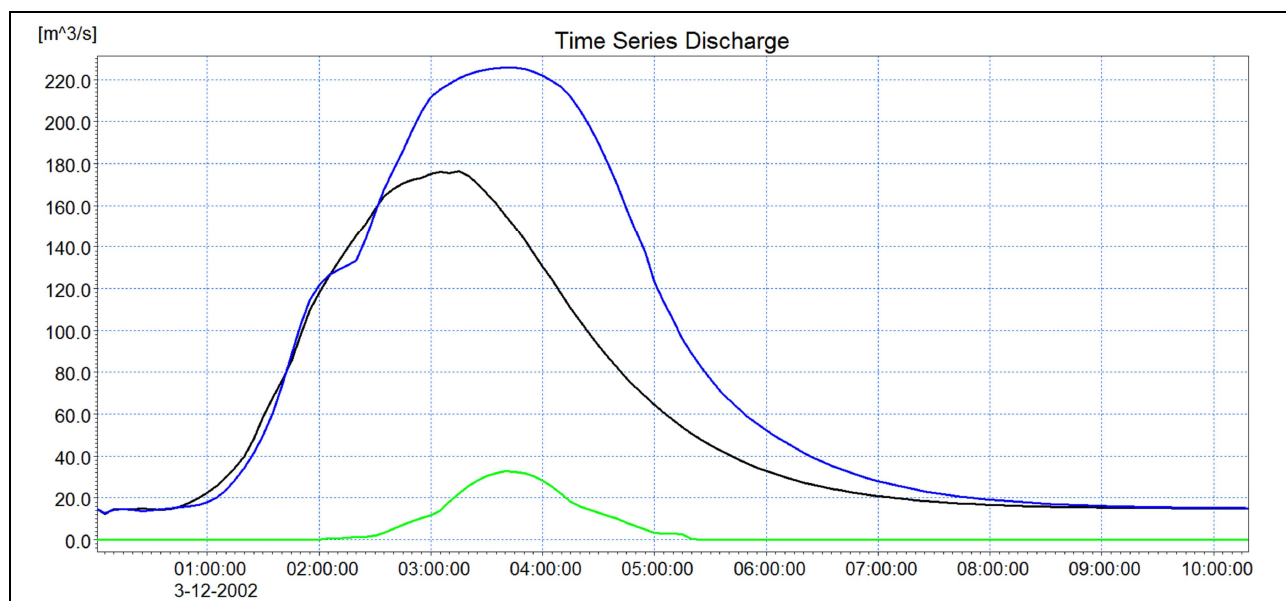
**Figura 5 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu + linea verde relativa alla portata defluente in area allagabile) al territorio di Trescore Balneario per T=100 anni**



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>Idros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei lavori d'arte della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 6 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu + linea verde relativa alla portata defluente in area allagabile) al territorio di Trescore Balneario per T=200 anni**



**Figura 7 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu + linea verde relativa alla portata defluente in area allagabile) al territorio di Trescore Balneario per T=500 anni**

Dall'analisi degli idrogrammi si osserva che:

- per T=2 anni la portata al colmo varia da circa 65 m³/s a circa 95 m³/s;
- per T=10 anni la portata al colmo varia da circa 105 m³/s a circa 150 m³/s;



A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Idros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vostro campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

- per T=50 anni la portata al colmo varia da circa 135 m<sup>3</sup>/s a circa 210 m<sup>3</sup>/s;
- per T=100 anni la portata al colmo varia da circa 150 m<sup>3</sup>/s a circa 230 m<sup>3</sup>/s;
- per T=200 anni la portata al colmo varia da circa 165 m<sup>3</sup>/s a circa 255 m<sup>3</sup>/s;
- per T=500 anni la portata al colmo varia da circa 180 m<sup>3</sup>/s a circa 260 m<sup>3</sup>/s.

In seguito alle simulazioni condotte, sono state anche tracciate le aree di allagamento per diversi valori del tempo di ritorno.

Di seguito si riporta una descrizione delle aree allagabili seguendo la precedente suddivisione dell'asta fluviale in tronchi omogenei.

### **Tronco 1: dal Lago di Endine a Trescore Balneario-Castello (da sez. 62 a sez. 31)**

Percorrendo il tratto in esame da monte verso valle si denota un'alternanza di esondazioni diffuse di limitata estensione e assenza di allagamenti.

In particolare:

- il tratto dal Lago d'Endine a Caderighi è caratterizzato da esondazioni diffuse, ma non ampie per l'evento di piena di progetto; gli allagamenti interessano una zona boscata nel tratto praticamente privo di pendenza immediatamente a valle del lago, il centro abitato di Casazza, specie in sponda destra e il fondovalle tra Fornace e Caderighi, meno densamente urbanizzato; in alcuni tratti non lontani dall'alveo (sezioni 112-107, 081-31) viene lambita la SS 42;
- il tratto da Caderighi a Fornaci è caratterizzato da esondazioni assenti per l'evento di piena di progetto;
- il tratto da Fornaci a Zandobbio presenta allagamenti diffusi, non ampi per l'evento di piena di progetto e locali per piene più frequenti; sono interessate da esondazione alcune aree produttive in località Fornaci e Calvarola e zone non urbanizzate appartenenti al comune di Trescore Balneario.

### **Tronco 2: da Trescore Balneario-Castello a Bolgare-Cascina Tezza (da sez. 31 a sez. 016)**

Percorrendo il tratto in esame da monte verso valle si denotano esondazioni estese e continue, mentre solo localmente sono assenti o di piccola entità. In località Molino de' Frati, immediatamente a monte di Gorlago, affluiscono nel Cherio il torrente Tadone, suo principale affluente, in destra idrografica ed il torrente Malmera in sinistra idrografica.

In particolare:

- il tratto da Castello alla linea ferroviaria LC-BS è caratterizzato da esondazioni sempre ampie e continue, fra cui una vasta area con qualche costruzione rurale in sinistra (sezioni

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

071-069) a monte dell'immissione degli affluenti; a valle dell'immissione la portata complessiva supera la capacità di deflusso dell'alveo e dei ponti, interessando vaste porzioni abitate; il ponte 047P provoca un notevole rigurgito;

- il tratto dalla linea ferroviaria LC-BS all'A4 è caratterizzato da esondazioni continue per l'evento di piena di progetto e locali per eventi più frequenti; come già osservato il rilevato autostradale provoca rigurgiti per tempi di ritorno da 50 in su e viene tracimato in sinistra per tempi di ritorno di 200 e 500 anni;
- il tratto dall'A4 a Cascina Tezza è caratterizzato da esondazioni continue sia per l'evento di piena di progetto sia per eventi più frequenti, interessando pesantemente l'abitato di Bolgare in sinistra e in destra.

### **Tronco 3: da Bolgare-Cascina Tezza a Palosco-Villa Gallinetti (da sez. 016 a sez. 010)**

Nel tratto in esame il fiume scorre in un zona di pianura e, vista la conformazione e la dimensione dell'alveo, le esondazioni sono solo locali ed esigue sia per eventi con TR=100 anni sia per eventi più frequenti.

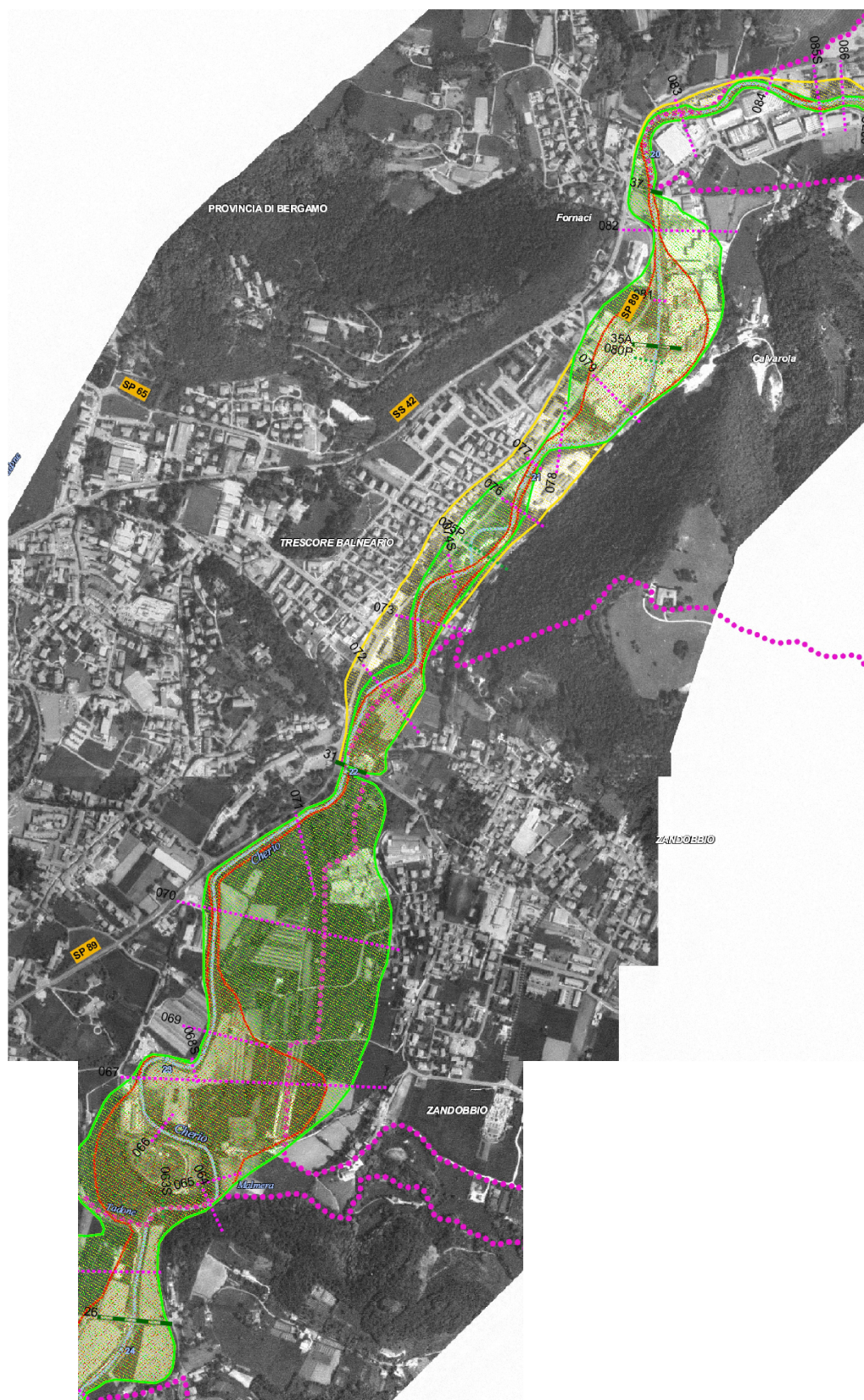
### **Tronco 4: da Palosco-Villa Gallinetti alla confluenza Oglio (da sez. 010 a sez. 1)**

Come nel tronco precedente, il corso d'acqua scorre in un territorio pianeggiante, senza ricevere importanti contributi idrici concentrati.

Si denotano esondazioni localmente ampie, con riferimento sia ai deflussi con TR=100 anni sia a quelli con TR=10 anni; questa situazione è particolarmente evidente nella parte terminale del tronco, dove non appare determinante l'effetto di rigurgito prodotto dai livelli di piena dell'Oglio. L'area maggiormente interessata dagli allagamenti è rappresentata da una porzione dell'espansione urbana di Palosco in sponda destra e da parti periferiche dell'abitato di Palosco in sponda sinistra. La maggior parte dell'abitato si trova a quote piuttosto elevate, di conseguenza non viene interessata dagli effetti delle piene.

Di seguito si riporta uno stralcio della cartografia delle aree allagabili dello *Studio-AdBPo* relativi al territorio di Trescore Balneario, che come già detto poc'anzi risulta essere interessato da allagamenti nella piana fluviale, limitata in destra idraulica dalla SS42 e dalla SP89 e in sinistra idraulica dai rilievi naturali. In particolare risultano interessate da esondazioni le aree produttive poste in località Calvarola e alcune aree residenziali poste nei pressi della SP89. Si osserva anche un esteso allagamento in sinistra idraulica, tra il ponte per Zandobbio e la confluenza del T. Malmera, con interessamento di una vasta area interessata da alcuni aree produttive, ma soprattutto da attività agricola.

RAFFAELLO CATTANEO architetto e paesaggista	ETATEC STUDIO PIALETTI		 Archeo Studi Bergamo s.r.l.	 HATTUSAS consulenza nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 ECOGEO s.r.l. TECNICOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	Dott. Nat. Giambattista Rivellini	Dott. Arch. Giovanni Mazza	Dott. For. Stefano Enfissi
--	---------------------------	---	--	--	--	---	----------------------------------	----------------------------------



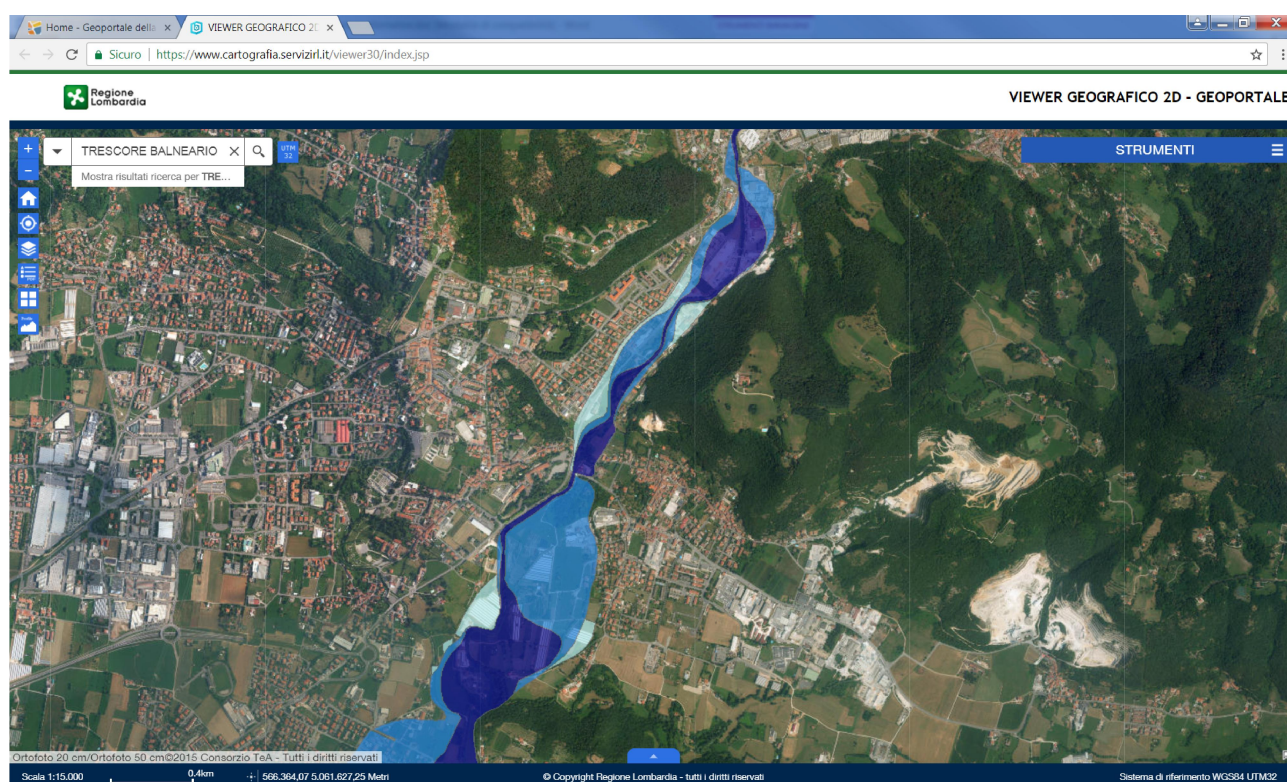
**Figura 8 – Aree di allagamento del fiume Chero per T=10 anni (linea e campitura rossa), 100 anni (linea e campitura verde) e 500 anni (linea e campitura gialla)**



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ldros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

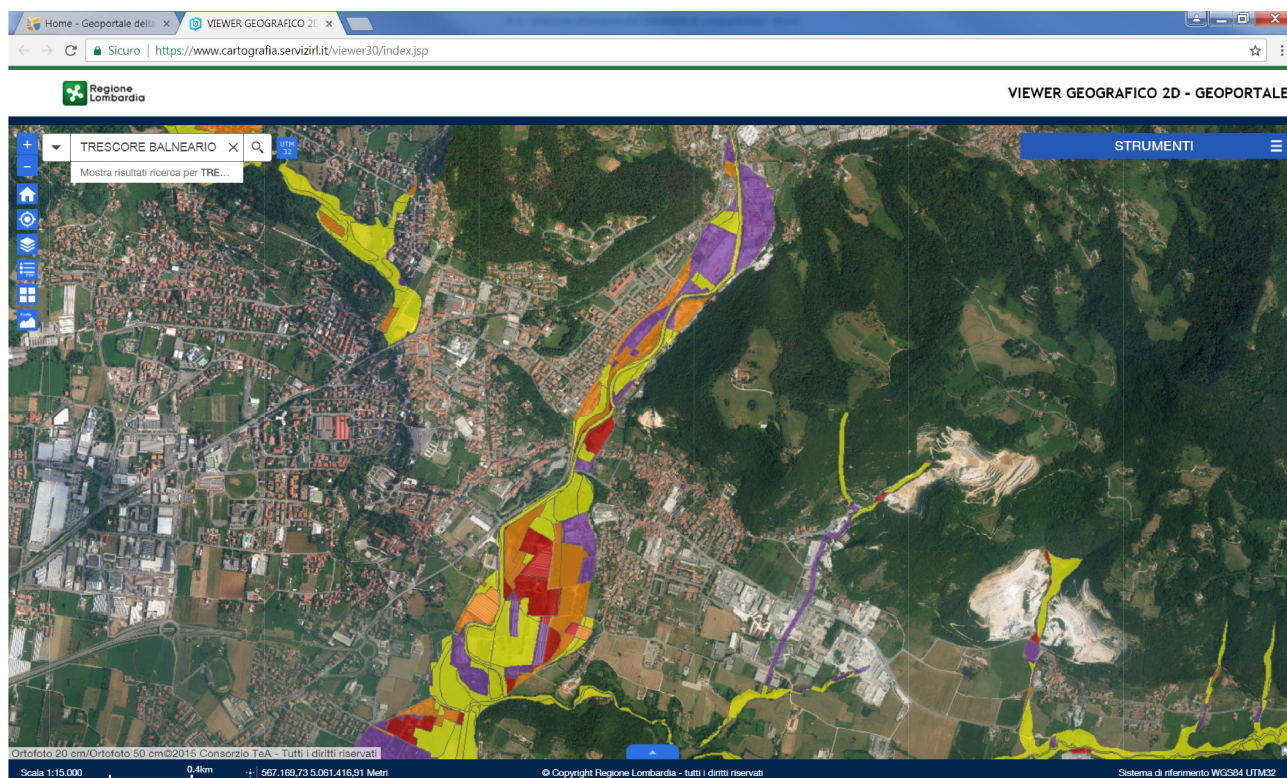
Le medesime aree di allagamento sono state considerate nell'ambito del PGRA (Piano Gestione del Rischio di Alluvioni) dell'Autorità distrettuale del fiume Po, e definite come aree di pericolosità idraulica da esondazione. Nella figura seguente sono riportate le aree a diverso grado di pericolosità, secondo la codifica e rappresentazione grafica utilizzata nel PGRA, in particolare:

- aree P3 (o H): aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (tempo di ritorno di riferimento pari a 10 anni) → campitura in colore blu;
- aree P2 (o M): aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (tempo di ritorno di riferimento pari a 100 anni) → campitura in colore azzurro;
- aree P1 (o L): aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (tempo di ritorno di riferimento pari a 500 anni) → aree campite in colore azzurro chiaro.



**Figura 9 – Foto aerea con riportate le aree di pericolosità del PGRA del F. Cherio in Comune di Trescore Balneario. Le aree blu sono quelle interessate da esondazioni frequenti (T=10 anni), quelle azzurre da esondazioni poco frequenti (T=100 anni) e quelle azzurre chiare da esondazioni rare (T=500 anni) - (fonte: Geoportale Regione Lombardia)**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 10 – Foto aerea con riportate le aree a rischio del PGRA del F. Cherio in Comune di Trescore Balneario. Le aree gialle sono quelle interessate da condizioni di rischio moderato, quelle arancioni da condizioni di rischio medio, quelle rosse da condizioni di rischio elevato e quelle viola da condizioni di rischio molto elevato - (fonte: Geoportale Regione Lombardia)**

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

### 3. ANALISI IDRAULICA DEL F. CHERIO MEDIANTE IMPLEMENTAZIONE DI UN MODELLO IDRAULICO BIDIMENSIONALE

#### 3.1 PREMESSA

A partire dai dati e dai rilievi disponibili (DTM del fiume Cherio del MATTM del 2009, e sezioni topografiche in corrispondenza dei manufatti di attraversamento), integrati con nuovi rilievi (DTM del fiume Cherio mediante drone, eseguito dal R.T.P. con drone) e dalle analisi idrologico-idrauliche già effettuate nell'ambito dello *Studio-AdBPo*, è stato implementato un modello bidimensionale a fondo fisso dell'intero tratto di fiume Cherio posto all'interno del Comune di Trescore Balneario, sufficientemente esteso a monte e a valle per tenere in conto delle condizioni al contorno. La lunghezza complessiva del modello lungo l'asse fluviale è pari a circa 5.5 km.

Come mostrato più oltre e nelle tavole allegate al presente progetto e al progetto di fattibilità tecnico-economica, attraverso il modello bidimensionale è stato possibile descrivere in modo attendibile il comportamento idraulico del fiume.

In particolare, il modello è stato utilizzato per simulare, con riferimento ad eventi caratterizzati da diversi valori del tempo di ritorno (2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni), lo stato attuale del corso d'acqua, dedotto dai dati e dai rilievi disponibili, e l'assetto di progetto, considerando sia quello definito nello *Studio-AdBPo* che quello proposto nel presente progetto di fattibilità tecnico-economica.

#### 3.2 IMPLEMENTAZIONE DEL MODELLO BIDIMENSIONALE A FONDO FISSO

##### 3.2.1 Ipotesi di calcolo e condizioni al contorno

Sulla base dei dati topografici e delle informazioni idrologico-idrauliche disponibili per il tratto fluviale di indagine assunti come riferimento, così come riportato nei successivi paragrafi, si è proceduto all'implementazione di un modello di simulazione idraulica bidimensionale di dettaglio del fiume Cherio che, opportunamente calibrato con riferimento alle informazioni disponibili, ha permesso di analizzare ad un'opportuna scala di riferimento l'evoluzione delle dinamiche fluviali in seguito alla realizzazione delle opere in progetto.

La modellazione a fondo fisso è stata implementata mediante il programma di calcolo INFOWORKS 2D ICM di Innovyze, che permette di analizzare il campo di moto a partire da



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

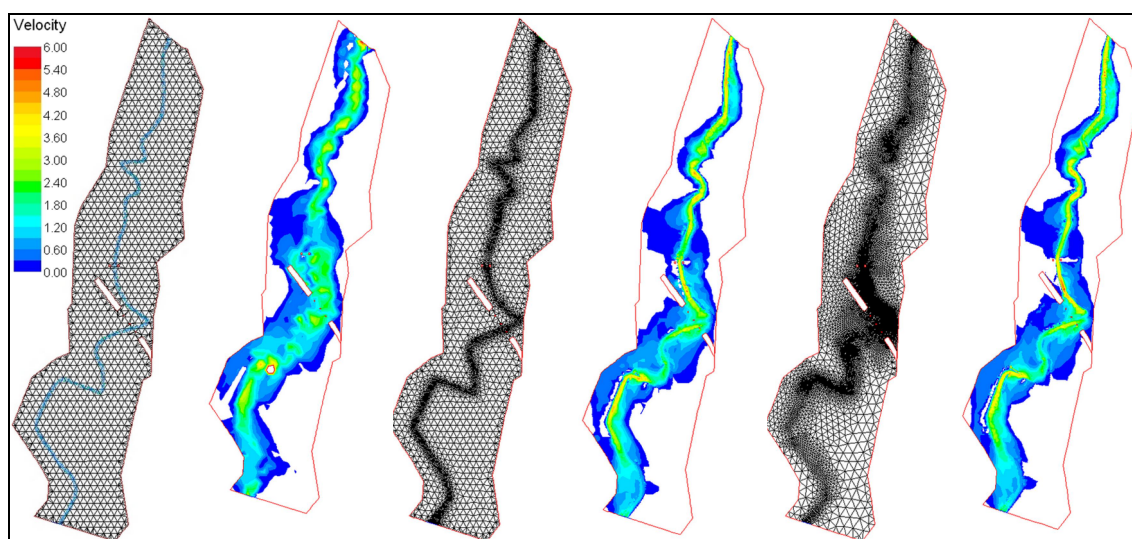
un D.T.M. (Digital Terrain Model), rappresentativo della geometria del dominio di calcolo, basandosi sulla risoluzione di tre equazioni non lineari alle differenze finite per la determinazione del campo di moto della corrente su di un piano bidimensionale (x,y).

Due di queste sono le equazioni del moto nelle direzioni x e y; la terza equazione è data dalla legge di continuità che garantisce la conservazione della massa all'interno del dominio di calcolo.

Il modello viene rappresentato attraverso una griglia di elementi triangolari. Le tre equazioni vengono risolte in ciascun nodo della maglia di calcolo; il metodo di calcolo delle suddette equazioni è sviluppato attraverso una procedura di risoluzione iterativa per la minimizzazione dello scarto della soluzione stessa.

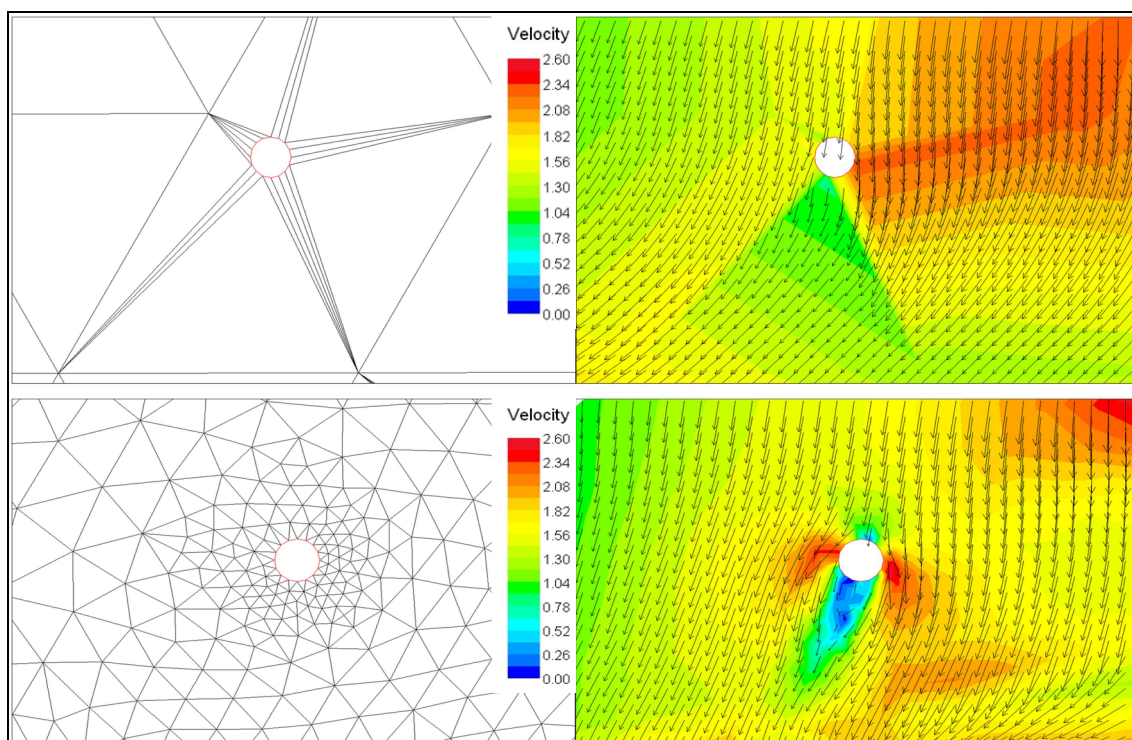
Il modello calcola in questo modo la velocità in ogni nodo mediandola sul tirante idrico, ovvero senza tenere conto della variazione della velocità nella direzione z.

Per minimizzare i possibili errori numerici nella soluzione, a causa di scarti nel calcolo dell'equazione di conservazione di massa, è possibile infittire localmente la maglia di calcolo per limitare tali effetti di diffusione numerica e fornire risultati di maggiore dettaglio.



**Figura 11 – esempio di variabilità dei risultati della simulazione in funzione del grado di affinamento della maglia di calcolo per la modellazione idraulica bidimensionale (fonte: Provincia di Bergamo – Studio integrativo delle tematiche di compatibilità idraulica relative all'attraversamento della SP 91 II lotto sul F. Cherio)**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei lavori campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



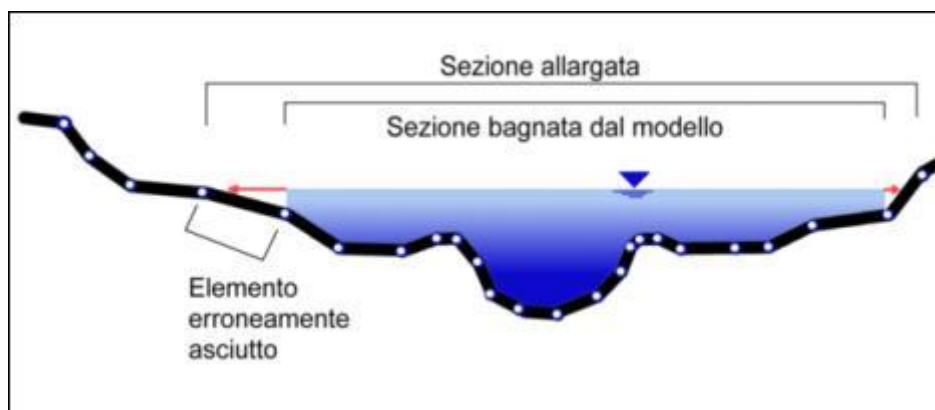
**Figura 12 – esempio di variabilità dei risultati della simulazione in funzione del grado di affinamento della maglia di calcolo per la modellazione idraulica bidimensionale in corrispondenza di opere puntuali e/o singolari**

Le equazioni di base, impiegate per simulare il moto bidimensionale indotto dalla piena di riferimento nell'area in studio, sono affette da alcune approssimazioni. Innanzitutto, le due equazioni del moto lungo le direzioni x e y si basano sull'ipotesi che la corrente sia lineare e che quindi la pressione abbia una distribuzione verticale idrostatica.

A livello geometrico la dimensione della maglia, se non sufficientemente piccola, può generare effetti di instabilità al momento in cui un elemento passa dalla condizione di completa immersione ad un parziale asciugamento. Il modello considera appartenente al campo di moto solo gli elementi in cui tutti i nodi presentano un tirante maggiore di zero.



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 13 – esempio di correzione dell’output grafico della modellazione idraulica bidimensionale**

Tuttavia, un eccessivo infittimento della dimensione delle celle, specialmente in zone in cui si prevede che il deflusso delle acque possa avere caratteristiche mediamente regolari e non particolarmente complesse, è tale da generare un appesantimento del calcolo con incremento della durata della simulazione stessa senza che vengano forniti ulteriori utili dettagli.

La corretta scelta della risoluzione delle maglie di calcolo, nelle diverse porzioni costituenti il dominio della modellazione, è quindi un aspetto particolarmente delicato per poter fornire le necessarie informazioni circa la dinamica fluviale.

Un’altra importante approssimazione del modello di calcolo risiede nella formula adottata per la resistenza idraulica del fondo, che viene fatta dipendere dal quadrato del modulo della velocità e dal coefficiente di scabrezza di Manning supposto localmente noto. Se sulla prima dipendenza non ci sono particolari dubbi, dato il carattere turbolento della corrente, sulla dipendenza da un valore costante del coefficiente di Manning esistono non poche incertezze, specialmente per le profondità minori e in presenza di trasporto di materiale solido.

Il modello bidimensionale di dettaglio del fiume Cherio è stato implementato per un’estensione longitudinale lungo l’asse pari a circa 5.5 km, comprendente l’intera larghezza dell’alveo di piena.

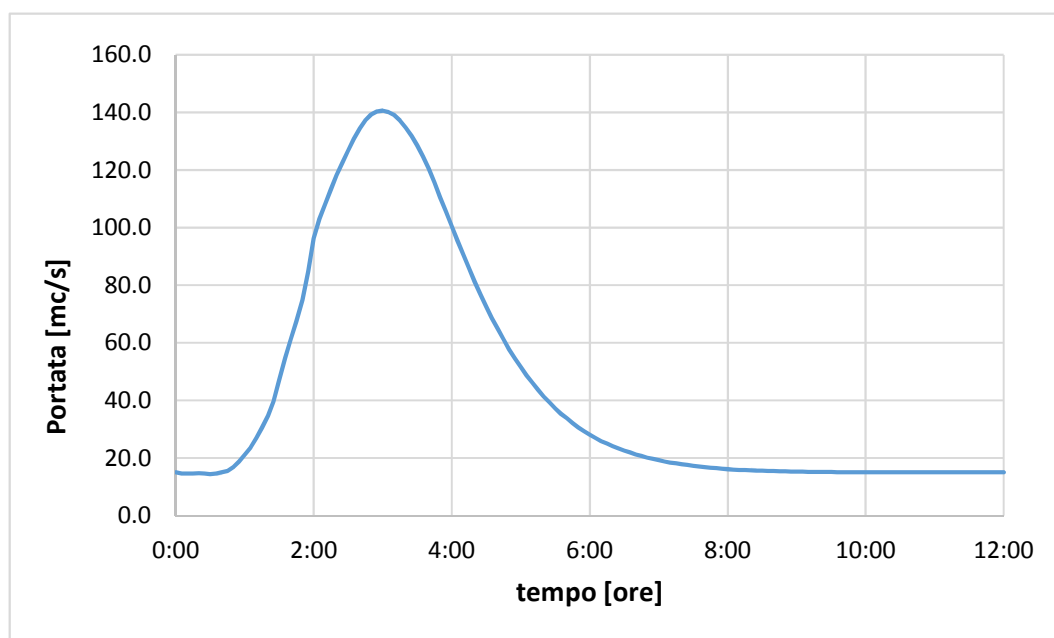
La superficie del dominio di calcolo del modello idraulico è pari a 1.8 kmq, e siccome il numero delle celle di calcolo è pari a circa 560'000, si ha che la superficie media degli elementi di calcolo è pari a circa 3 mq.

Sono stati inseriti anche i manufatti di attraversamento presenti nel tratto in oggetto, ricavando la loro geometria attraverso i rilievi condotti nell’ambito dello *Studio-AdBPo*.

Per meglio definire i comportamenti morfodinamici del fiume Cherio, il modello

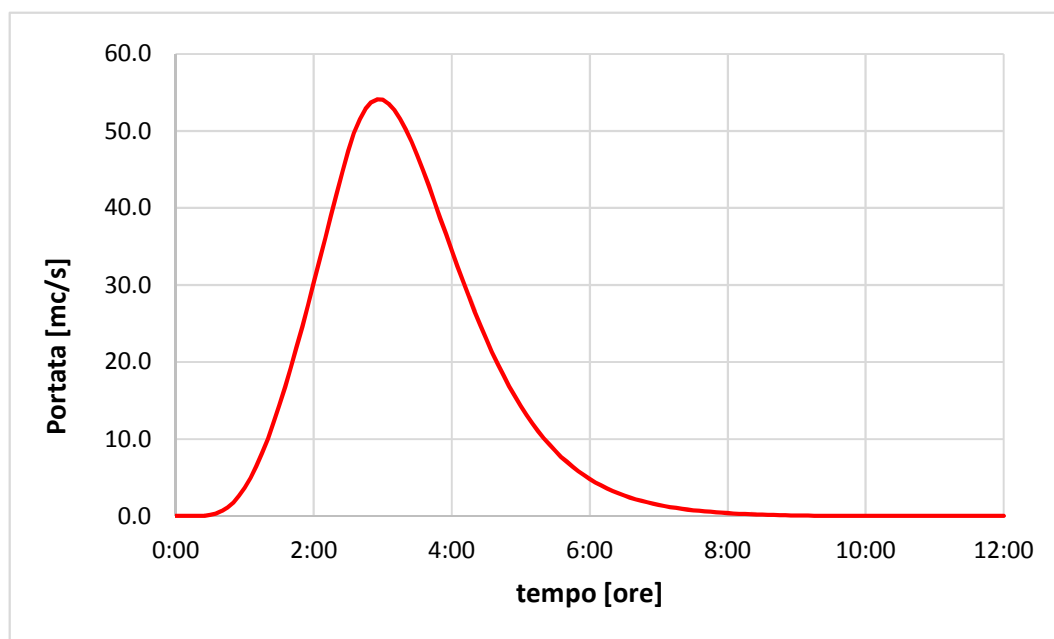
A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vari campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

bidimensionale a fondo fisso è stato implementato con diversi scenari di portata di riferimento (idrogrammi per tempo di ritorno pari a 2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni). In particolare dallo *Studio-AdBPo* sono stati ricavati gli idrogrammi di piena in corrispondenza della sezione iniziale del modello (sez. 87 secondo la codifica AdBPo) e gli apporti del bacino residuo fino alla fine del tratto modellato (sez. 58 secondo la codifica AdBPo). I contributi del bacino residuo sono stati scorporati ed applicati in corrispondenza dei vari punti di immissione del reticolo naturale afferente al Cherio, con particolare riferimento agli affluenti Tadone e Malmera. Nelle figure seguenti sono riportati, a titolo di esempio, gli idrogrammi relativi al tempo di ritorno centennale.

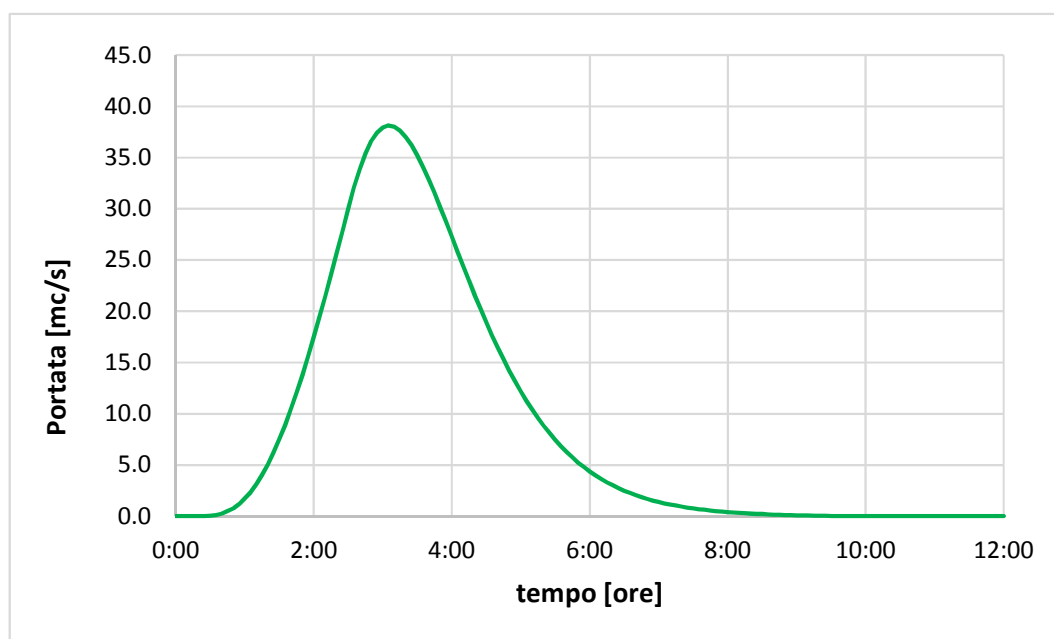


**Figura 14 – Idrogramma di piena centennale applicato in corrispondenza della sezione di monte del modello**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vari campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

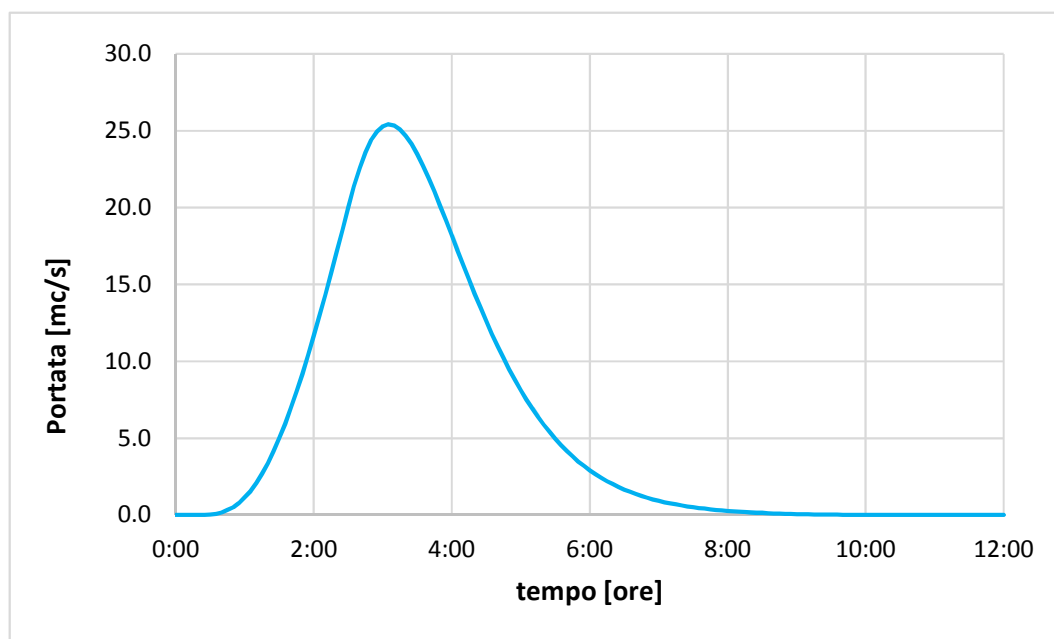


**Figura 15 – Idrogramma di piena centennale relativo al bacino naturale compreso tra la sezione iniziale del modello e la confluenza con i torrenti Tadone e Malmera (Tale idrogramma è stato suddiviso in n. 5 contributi concentrati lungo il tratto in studio, in corrispondenza dell'immissione dei diversi rii presenti).**



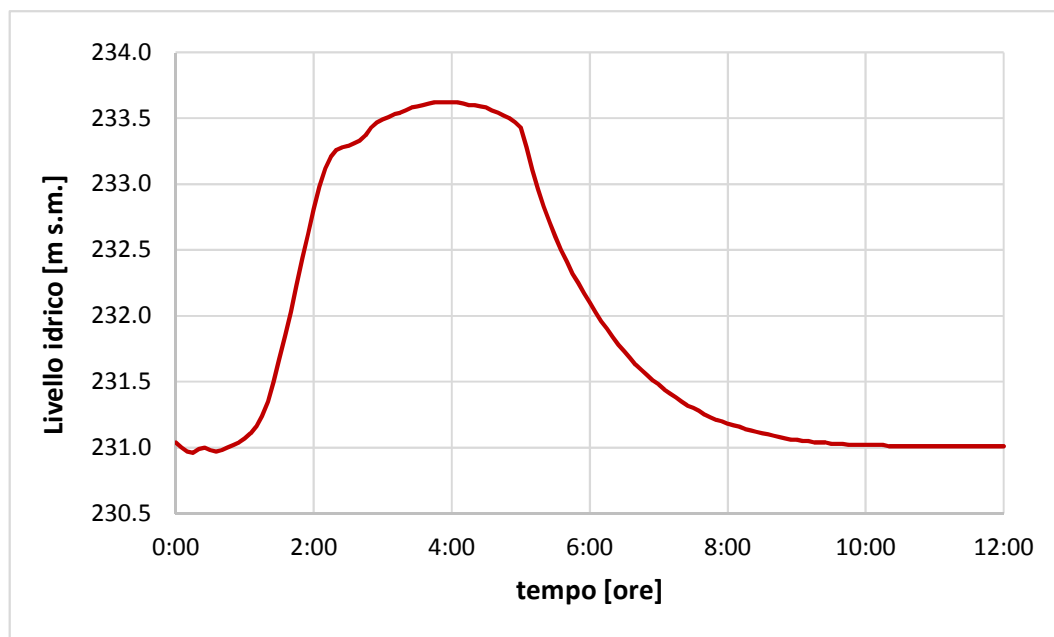
**Figura 16 – Idrogramma di piena centennale relativo al bacino naturale del torrente Tadone**

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ydros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 17 – Idrogramma di piena centennale relativo al bacino naturale del torrente Malmera**

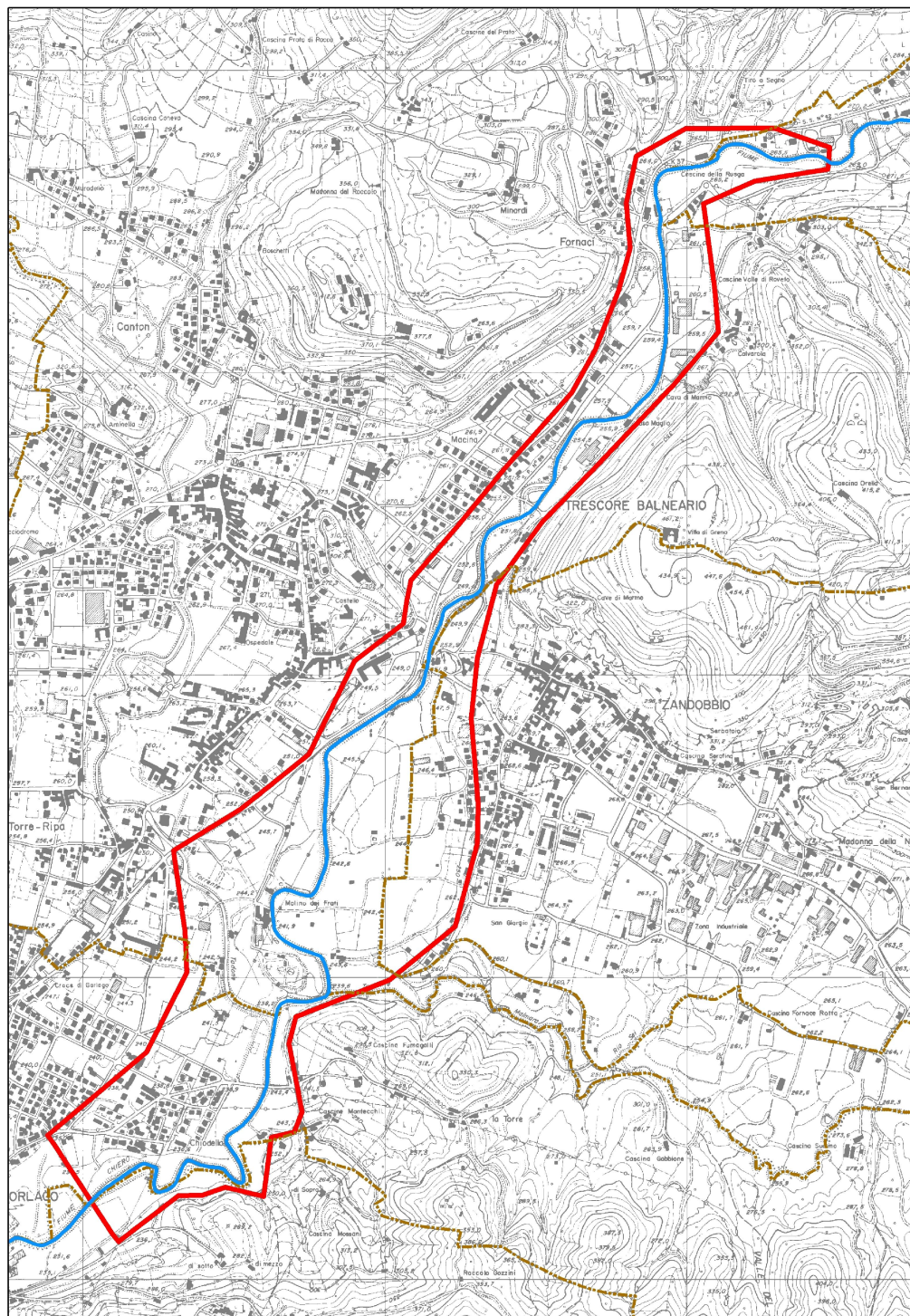
Come valore del livello di valle è stato assunto il livello idrico calcolato nell'ambito dello *Studio-AdBPo* in corrispondenza della sezione 58 (secondo la codifica AdBPo) per i diversi valori del tempo di ritorno considerato.



**Figura 18 – Livello idrico della piena centennale in corrispondenza della sezione di valle del modello**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ldros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

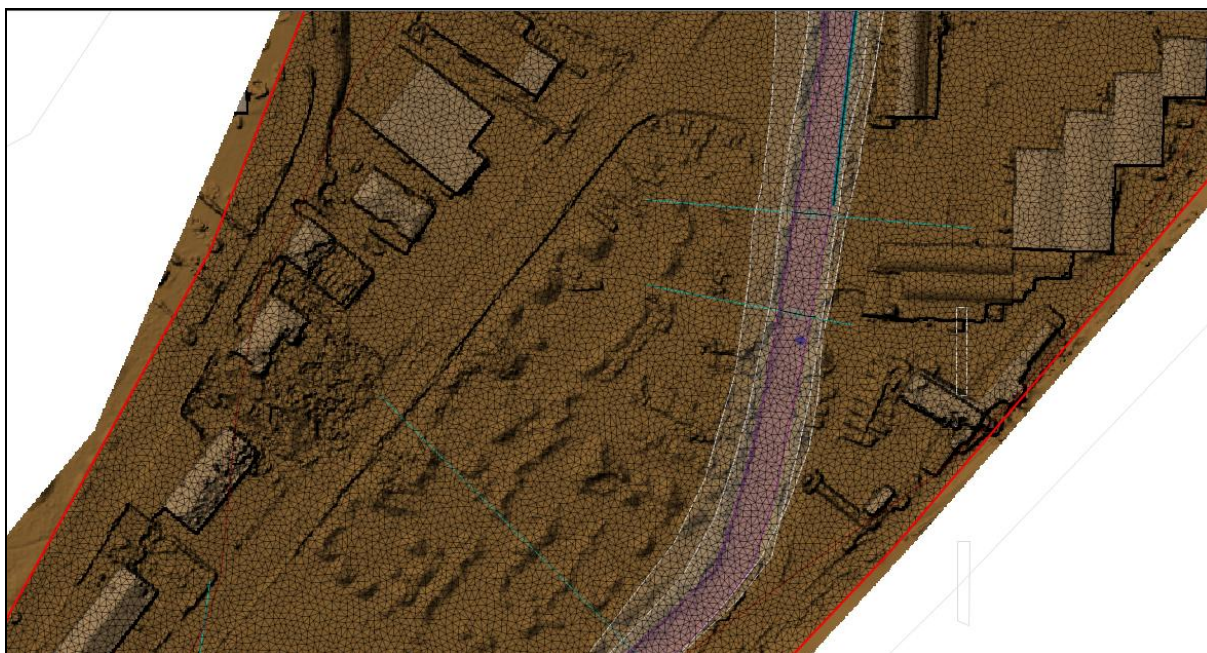
Nella Figura 19 è riportata l'estensione del dominio di calcolo del modello bidimensionale, mentre nella Figura 20 è riportato un dettaglio della magliatura del modello bidimensionale.



**Figura 19 – Dominio di calcolo del modello bidimensionale**



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ydros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 20 – Dettaglio della magliatura del modello implementato del fiume Cherio.**

### **3.2.2 Caratterizzazione geometrica dell'alveo oggetto della modellazione**

Le caratteristiche topografiche delle aree interessate dalla modellazione sono state dedotte sulla base delle seguenti informazioni:

- modello digitale del terreno (DTM), a maglia 1 m, effettuato con volo Lidar nel corso del 2009 da parte del MATTM;
- modello digitale del terreno (DTM), effettuato con drone nel corso dell'estate 2017 da parte del presente R.T.P.;
- sezioni topografiche ricavate dallo *Studio-AdBPo*.

I due DTM differiscono tra loro per i seguenti aspetti: quello del MATTM è stato effettuato con scarsa presenza di vegetazione, soprattutto in alveo, ma non ha le infrastrutture presenti nelle aree golenali e nelle zone limitrofe all'alveo, tra cui gli edifici; il DTM realizzato con il drone è stato effettuato in periodo estivo, quindi con elevata presenza di vegetazione in alveo, mentre ha le infrastrutture. Si è proceduto, pertanto, a generare un nuovo D.T.M. a maglia 1 m, attraverso l'unione dei due rilievi, utilizzando quello del MATTM per l'alveo inciso e quello con il drone per le parti esterne (aree golenali ed esterne, con la presenza di infrastrutture ed edifici).

Infine, le sezioni topografiche sono state utilizzate per inserire nel modello bidimensionale i

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

ponti presenti lungo il tratto in esame.

### 3.3 SIMULAZIONI CONDOTTE CON IL MODELLO BIDIMENSIONALE E RISULTATI OTTENUTI

A partire dal modello idraulico bidimensionale implementato ed in relazione agli idrogrammi definiti nello *Studio-AdBPo* e riportati nei paragrafi precedenti, sono state condotte le seguenti simulazioni in moto vario:

1. stato di fatto con eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno pari a 2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni;
2. assetto di progetto definito nel presente progetto di fattibilità tecnico-economica, con riferimento ad eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno pari a 2, 10, 50, 100, 200 e 500 anni.

I risultati delle simulazioni sono riportati nelle figure seguenti e per maggior dettaglio nelle tavole allegate al presente progetto di fattibilità tecnico-economica. In particolare:

- dalla Figura 21 alla Figura 26 sono riportati i livelli idrici relativi allo stato di fatto per i diversi valori del tempo di ritorno considerati, da cui si può osservare che diverse sono già interessate da esondazioni anche per eventi di piena frequenti, quali ad esempio quelli caratterizzati da valori del tempo di ritorno pari a 2 anni (portata di piena al colmo nel tratto compresa tra 60 e 100 m<sup>3</sup>/s) e 10 anni (portata di piena al colmo nel tratto compresa tra 100 e 150 m<sup>3</sup>/s). In particolare si segnala per tali valori del tempo di ritorno tutte le aree golenali del Cherio, anche quelle con presenza di insediamenti, come ad esempio la località Calvarola, risultano essere interessate da fenomeni di esondazione. Ovviamente al crescere del valore del tempo di ritorno, aumentano le aree allagabili e i tiranti idrici.
- Dalla Figura 27 alla Figura 32 sono riportati i livelli idrici relativi all'assetto di progetto (si ricorda che le opere sono progettate per un evento di piena centennale) per i diversi valori del tempo di ritorno considerati, da cui si può osservare che:
  - le aree di espansione golenale, denominate “Radici” e “Macina”, vengono interessate già in occasione di eventi caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 2 anni;
  - le aree di laminazione golenali, denominate “Calvarola”, “Brignoli” e “Molino dei Frati”, cominciano ad entrare in funzione per eventi caratterizzati da un tempo di ritorno pari a 10 anni (in realtà l'area di laminazione “Molino dei Frati”, per come è stata regolata per ottenere un funzionamento ottimale in corrispondenza

A.T.P.						Consulenti		
			 Archeo Studi Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

dell'evento di piena centennale, viene leggermente interessata anche dalla piena a 2 anni di tempo di ritorno. Si rimanda alle successive attività progettuali (l'ottimizzazione della regolazione di tale opera).



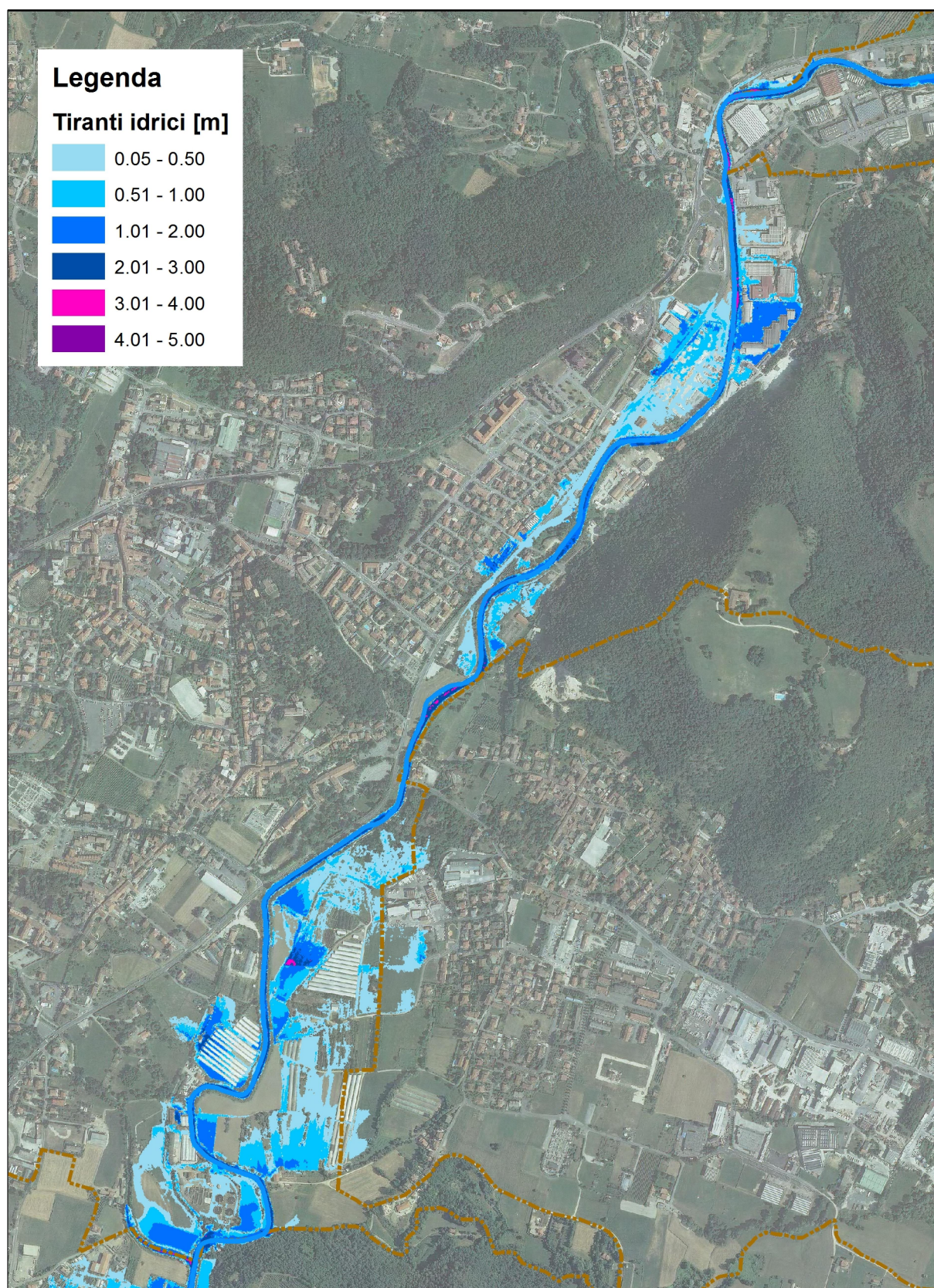


Figura 21 – Livelli idrici al colmo per T=2 anni – Stato attuale



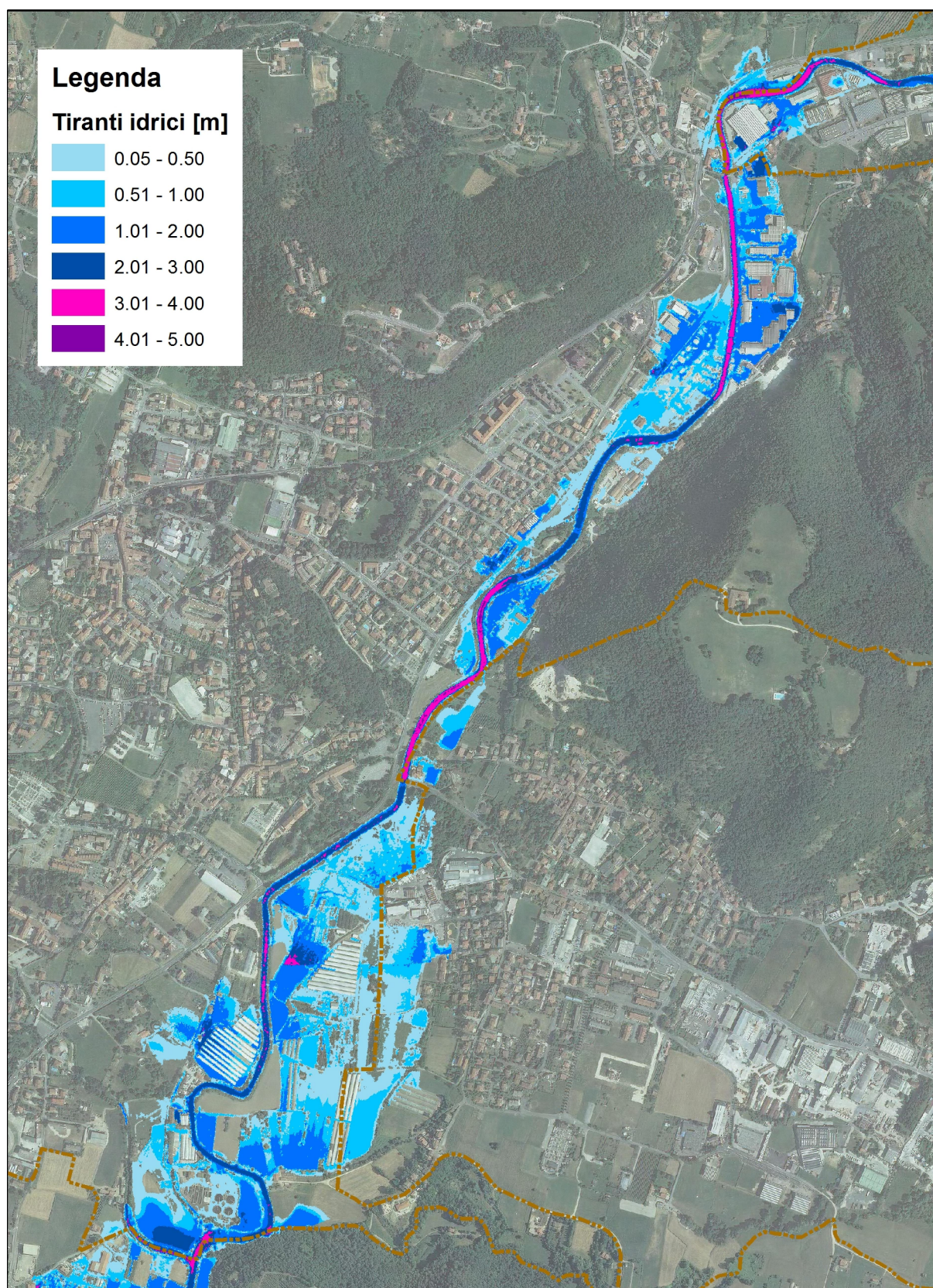


Figura 22 – Livelli idrici al colmo per T=10 anni – Stato attuale



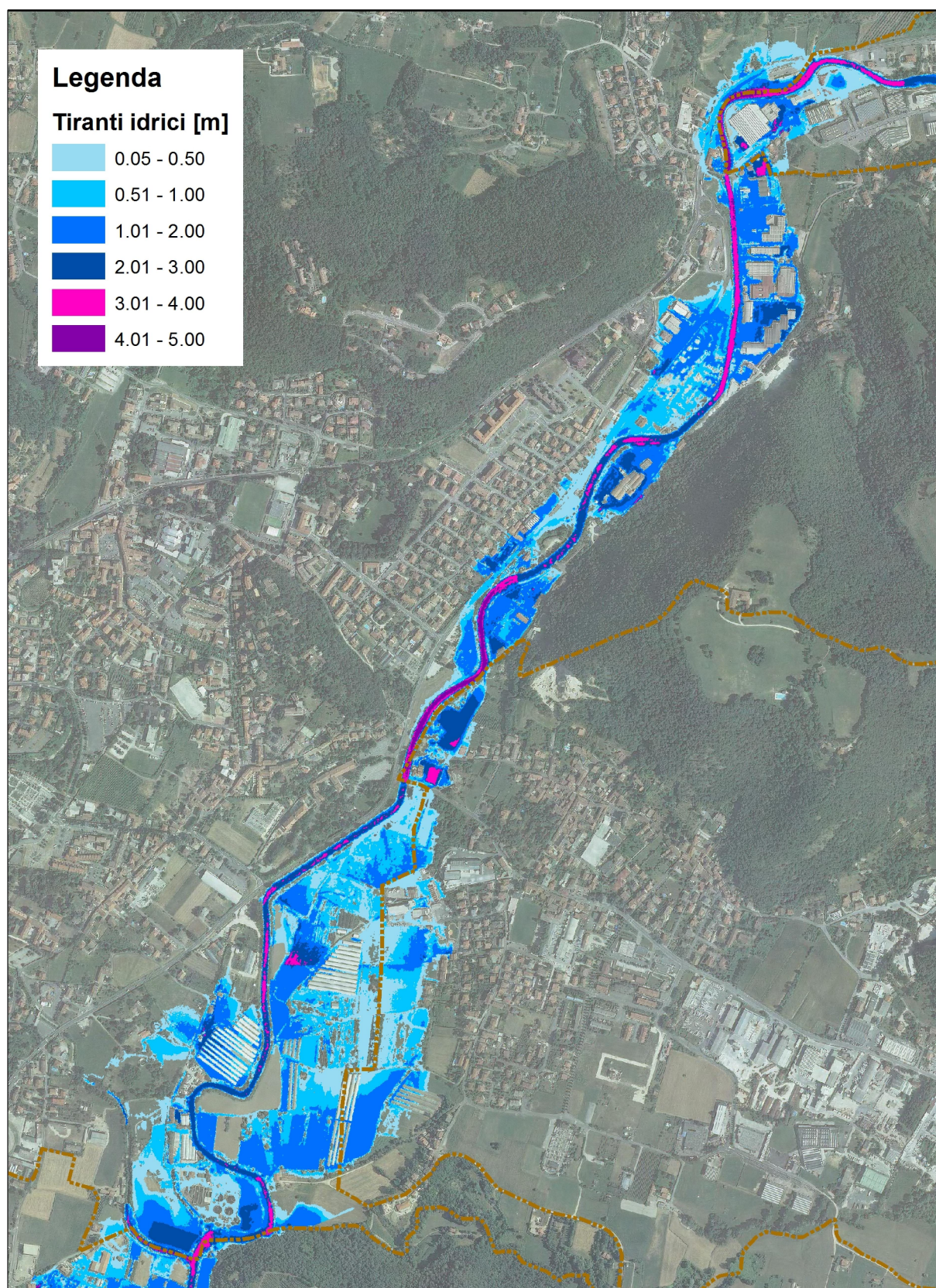


Figura 23 – Livelli idrici al colmo per T=50 anni – Stato attuale



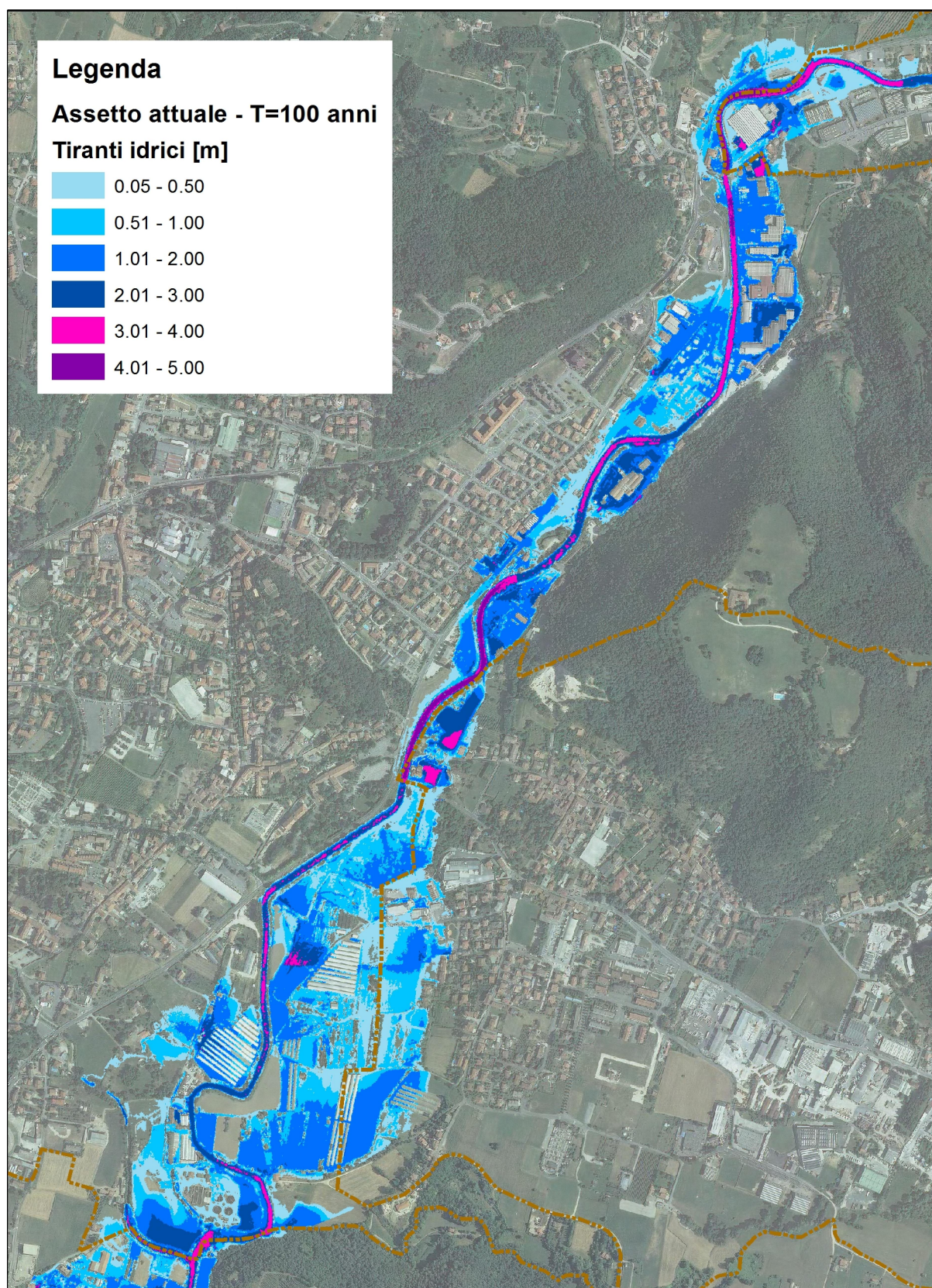


Figura 24 – Livelli idrici al colmo per T=100 anni – Stato attuale



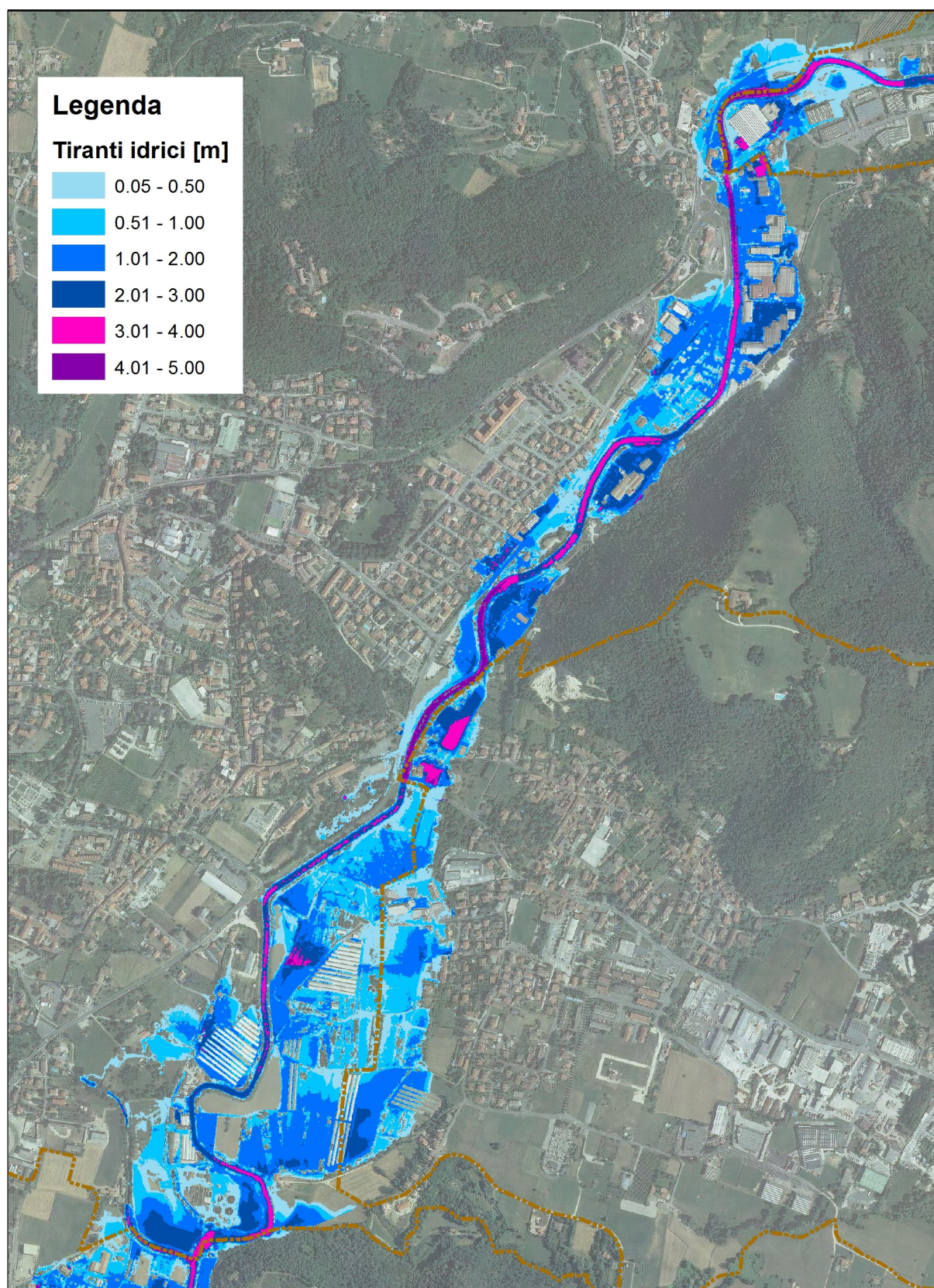


Figura 25 – Livelli idrici al colmo per T=200 anni – Stato attuale



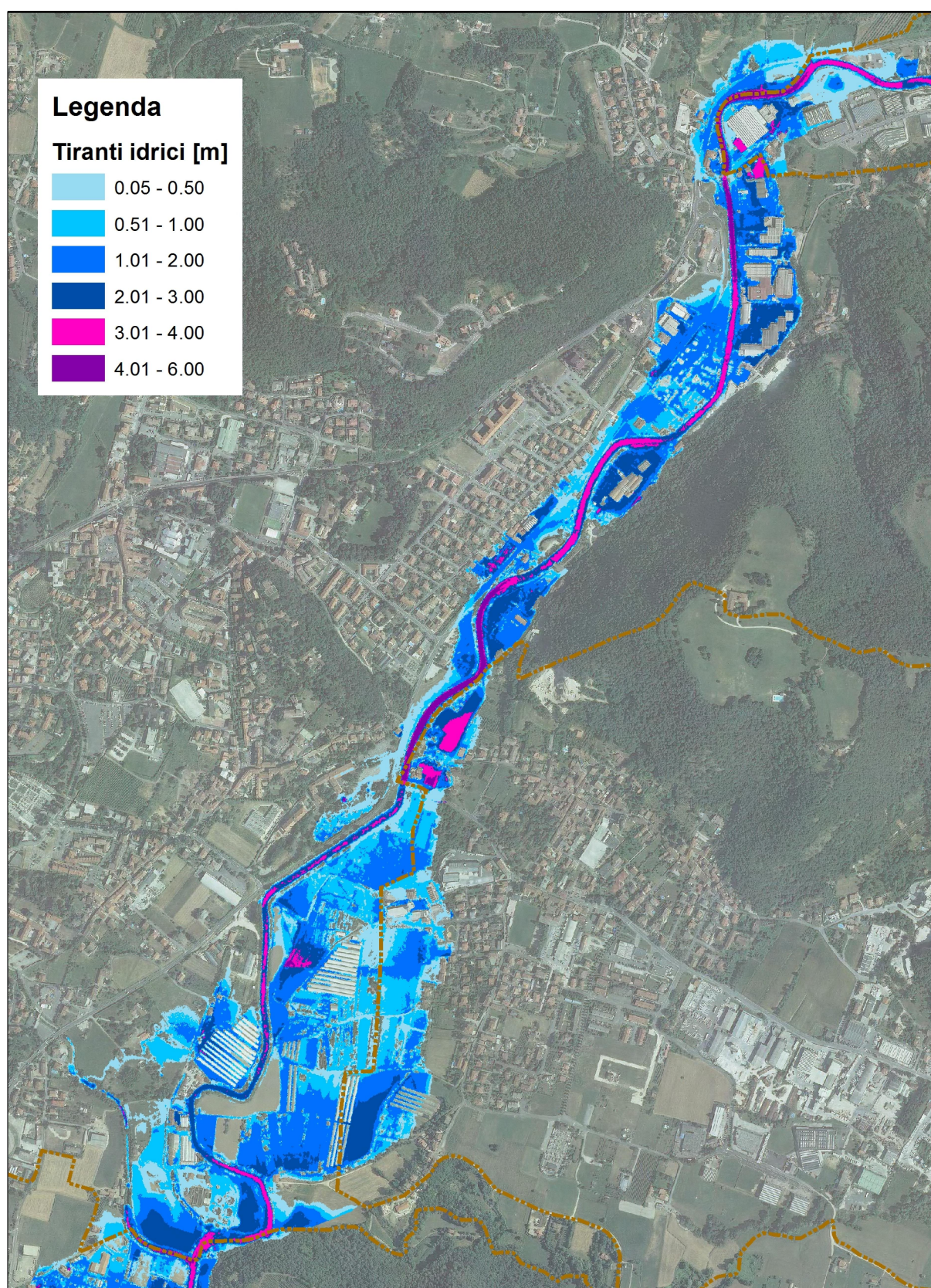


Figura 26 – Livelli idrici al colmo per T=500 anni – Stato attuale



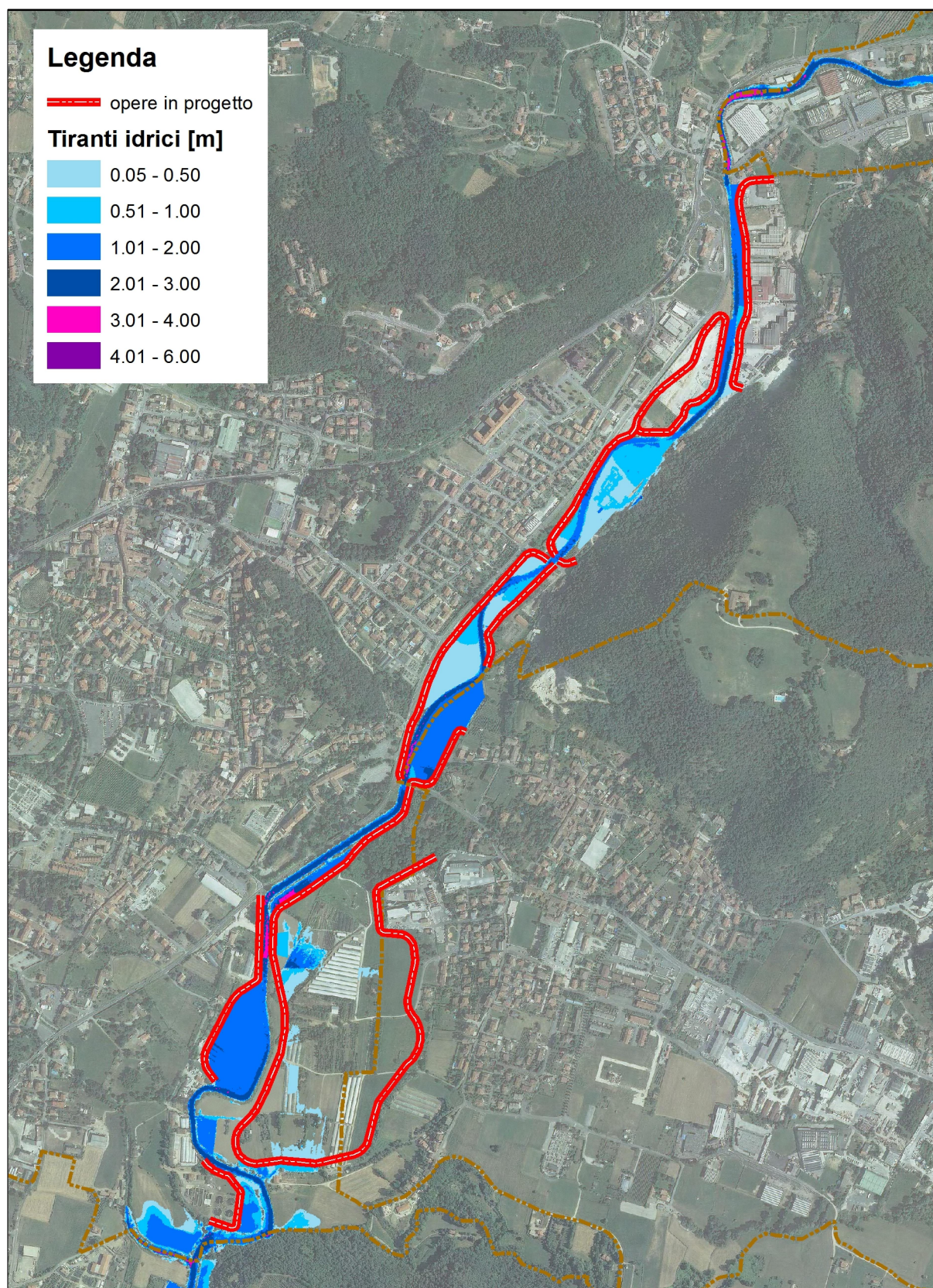


Figura 27 – Livelli idrici al colmo per T=2 anni – assetto di progetto



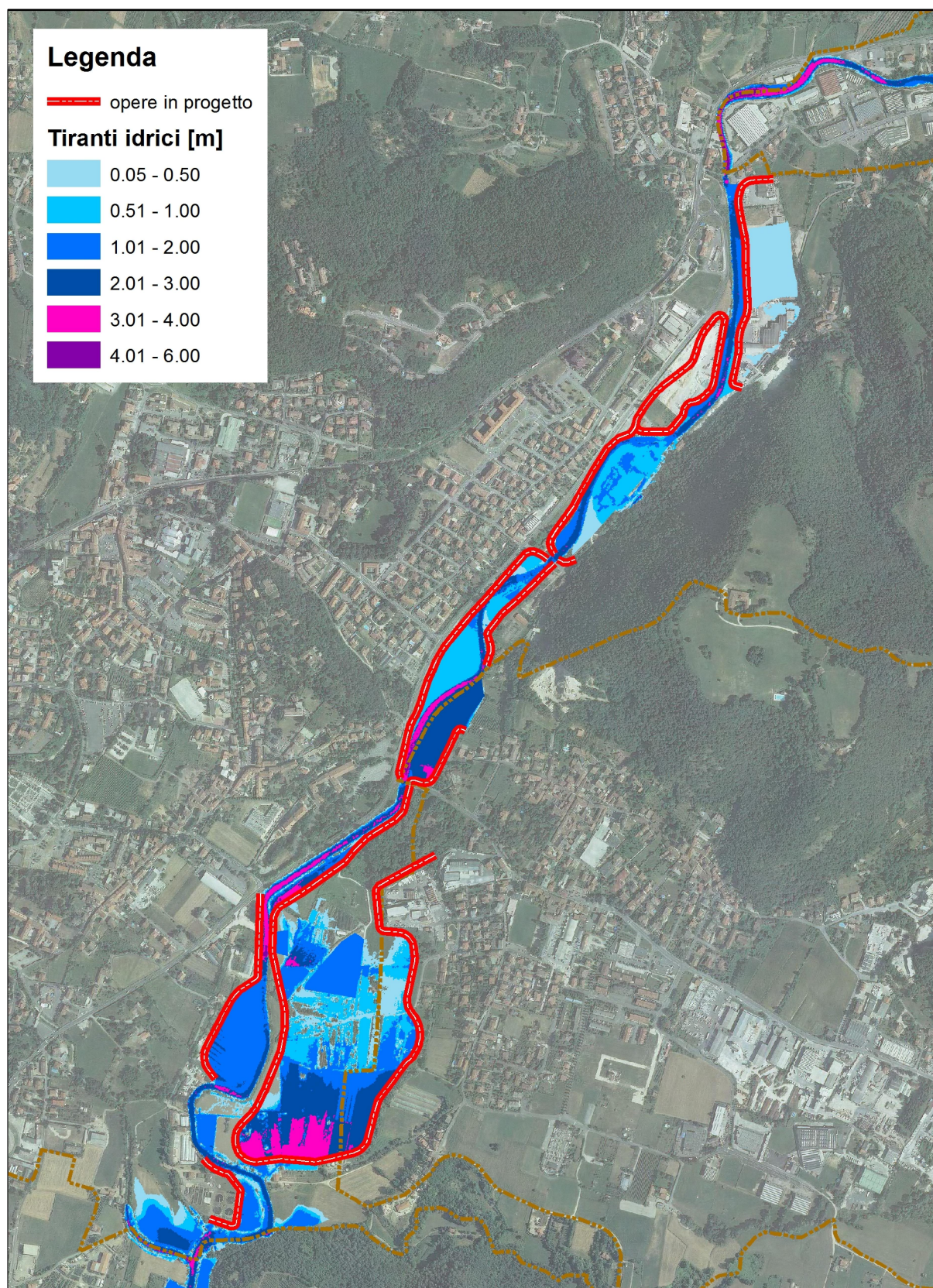


Figura 28 – Livelli idrici al colmo per T=10 anni – assetto di progetto



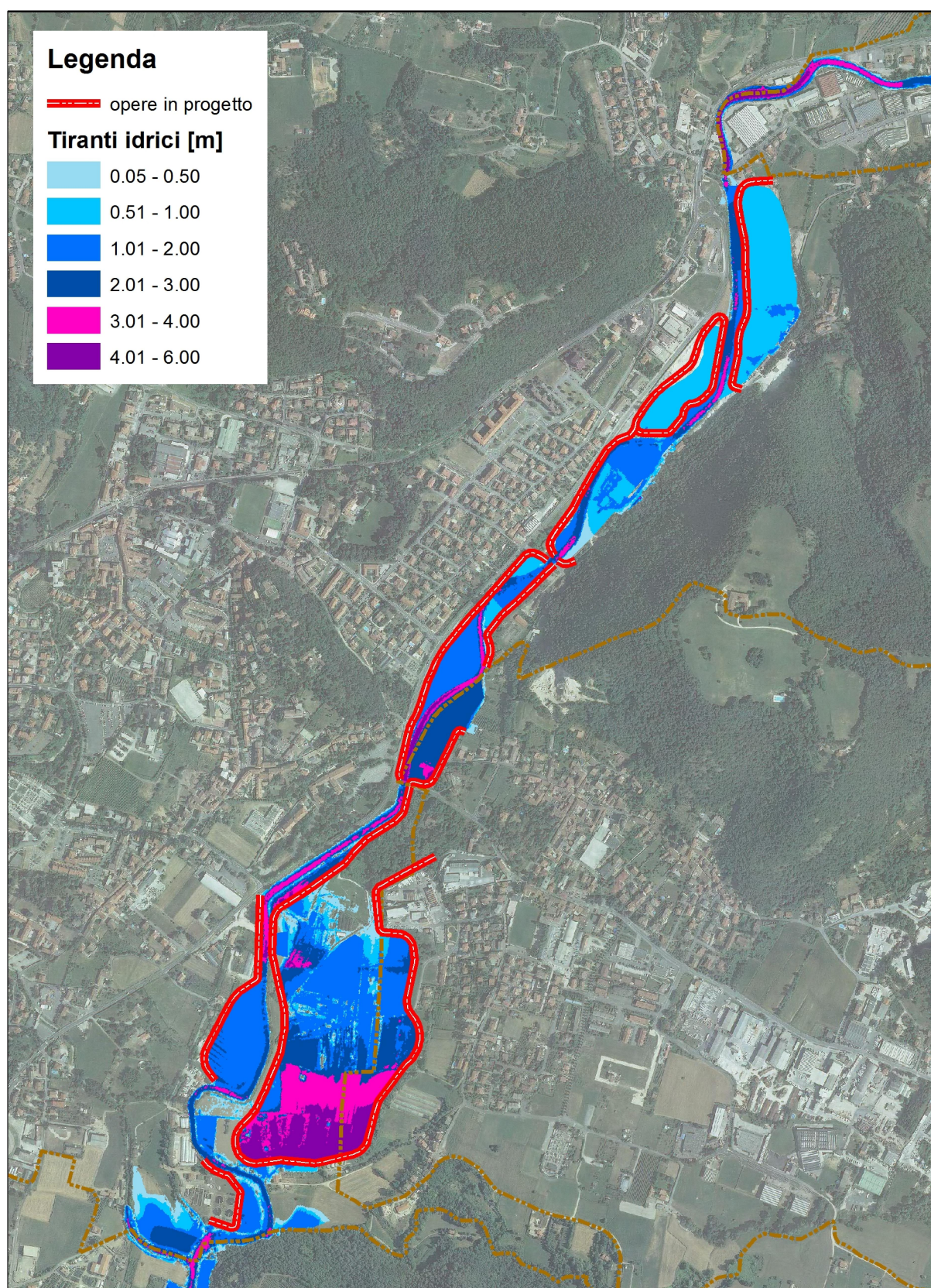


Figura 29 – Livelli idrici al colmo per T=50 anni – assetto di progetto



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

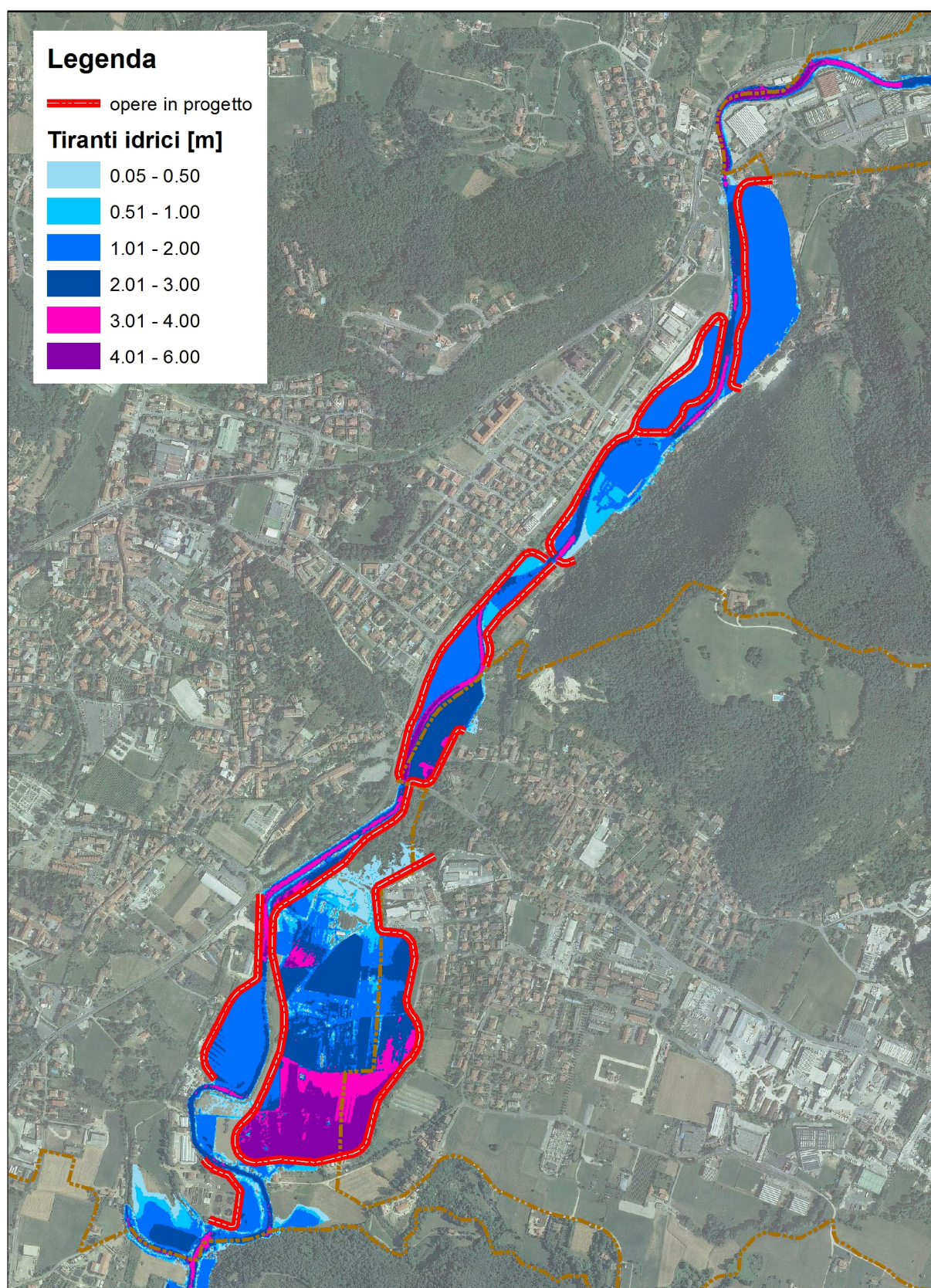


Figura 30 – Livelli idrici al colmo per T=100 anni – assetto di progetto



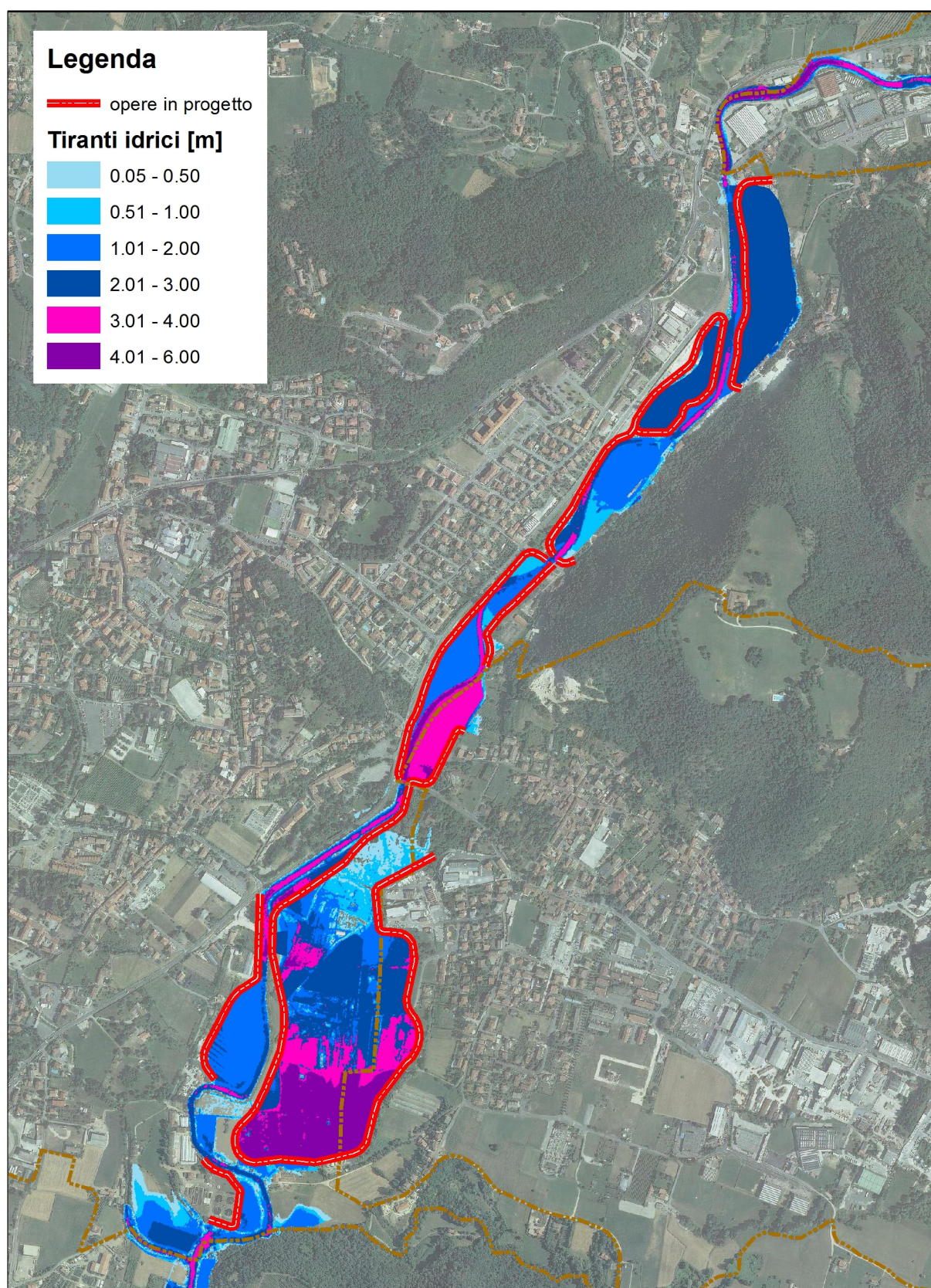


Figura 31 – Livelli idrici al colmo per T=200 anni – assetto di progetto



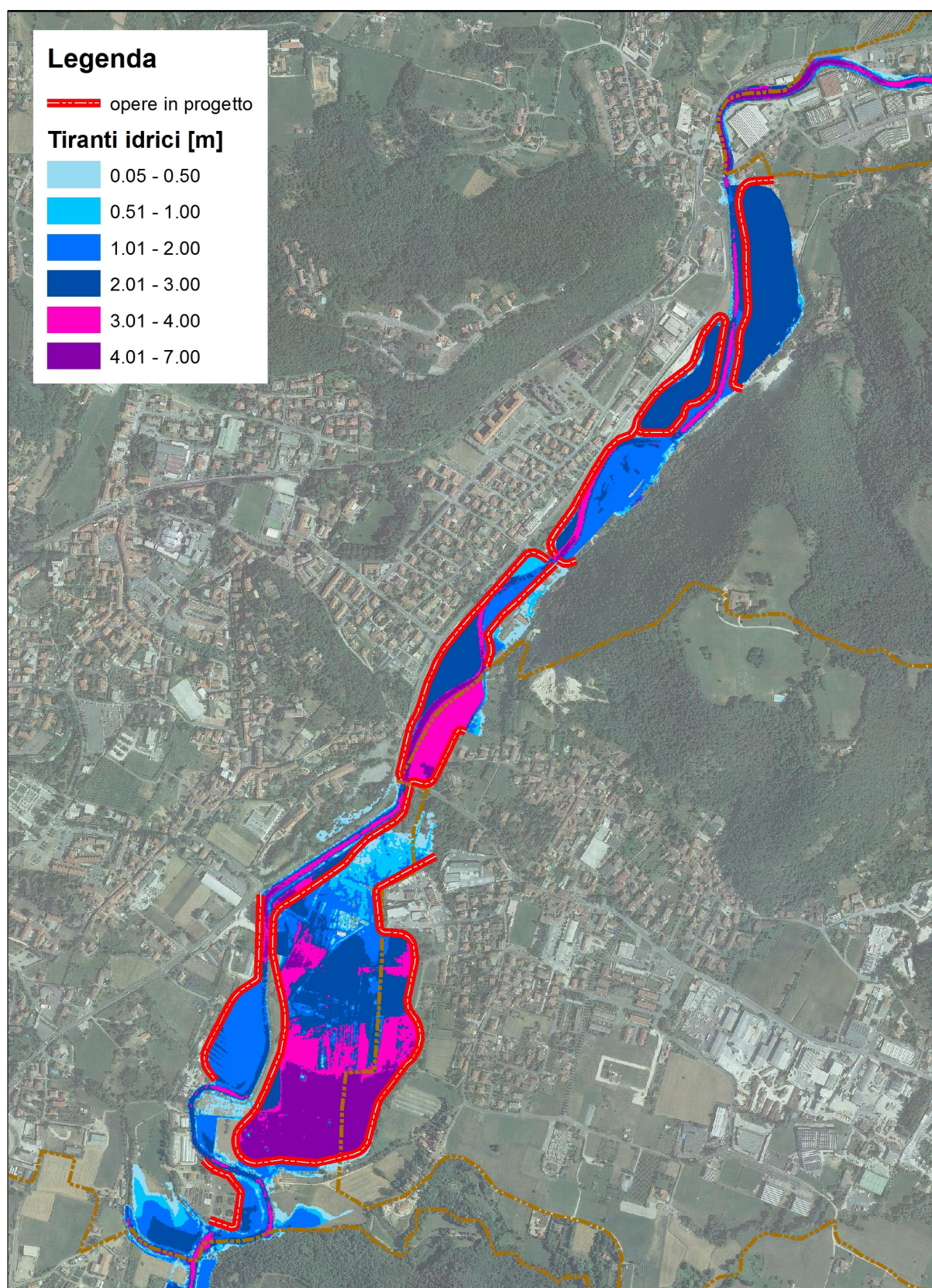
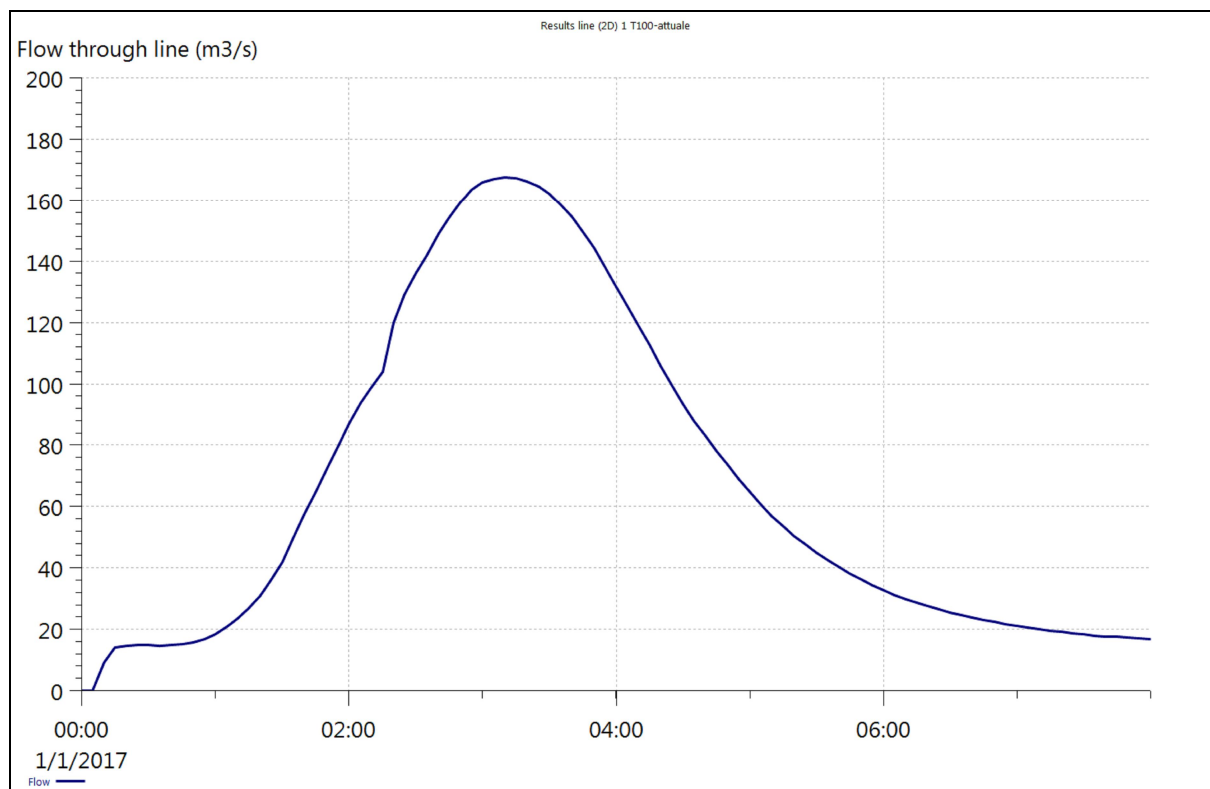


Figura 32 – Livelli idrici al colmo per T=500 anni – assetto di progetto



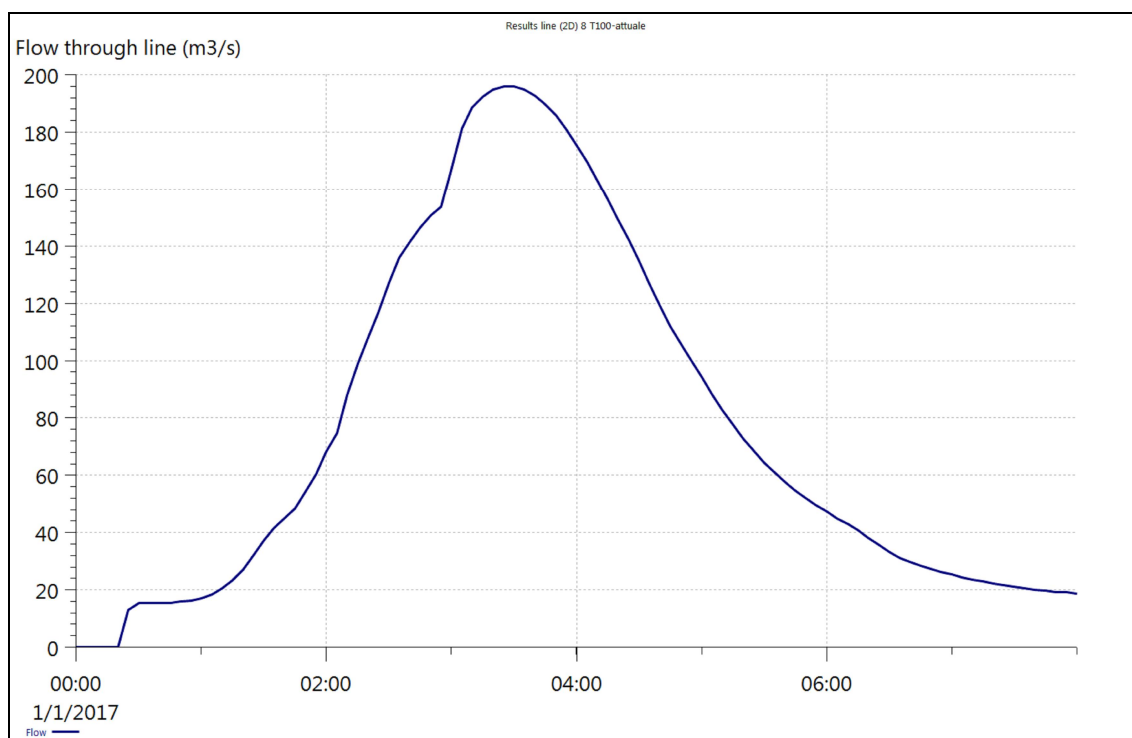
A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

Di seguito, invece, si riportano gli idrogrammi di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni (tempo di ritorno di riferimento) in corrispondenza di alcune sezioni caratteristiche, considerando lo stato attuale e l'assetto di progetto, da cui è possibile osservare l'effetto delle opere previste in termini di riduzione della portata di picco della piena.

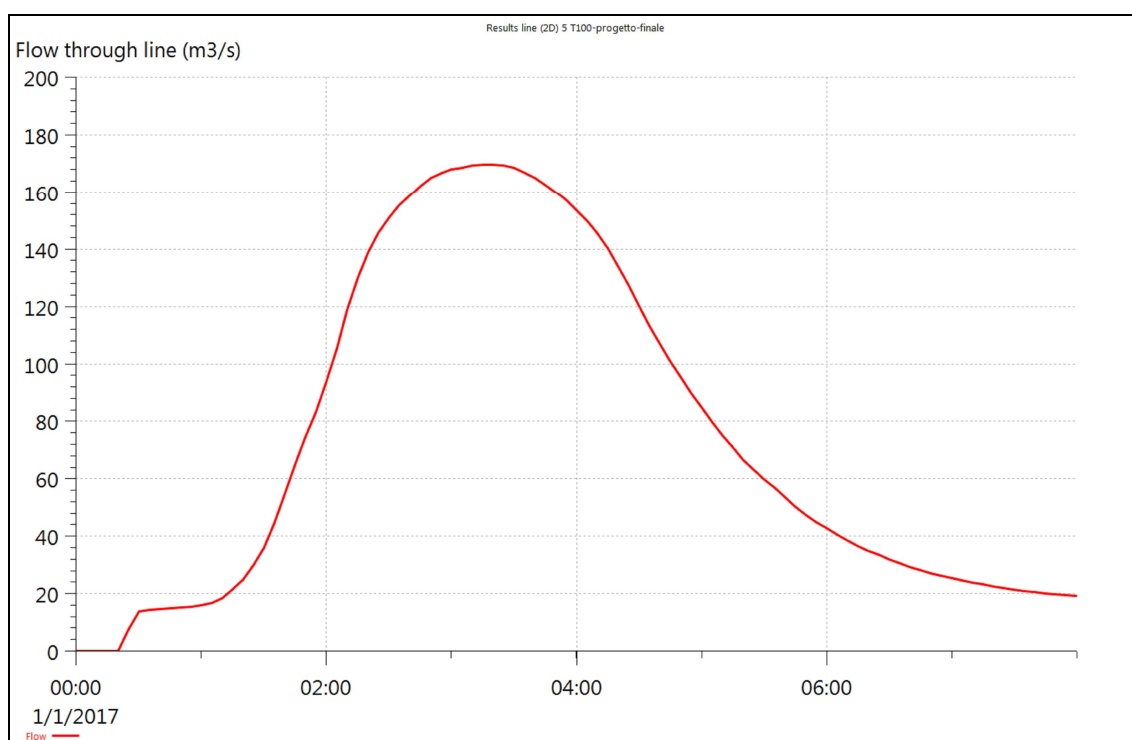


**Figura 33 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza del ponte ad arco in località Calvarola – stato di fatto e assetto progetto (gli idrogrammi sono identici in quanto le opere in progetto sono previste a valle di tale sezione).**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



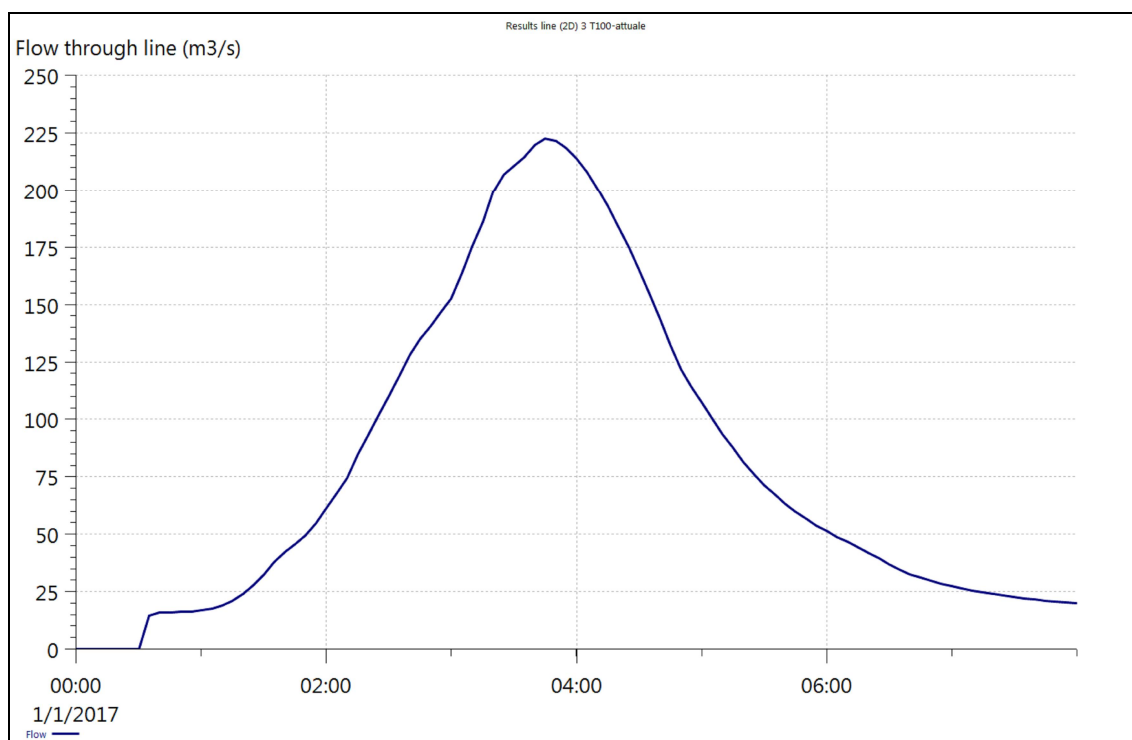
**Figura 34 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza del ponte di via Macina – stato di fatto**



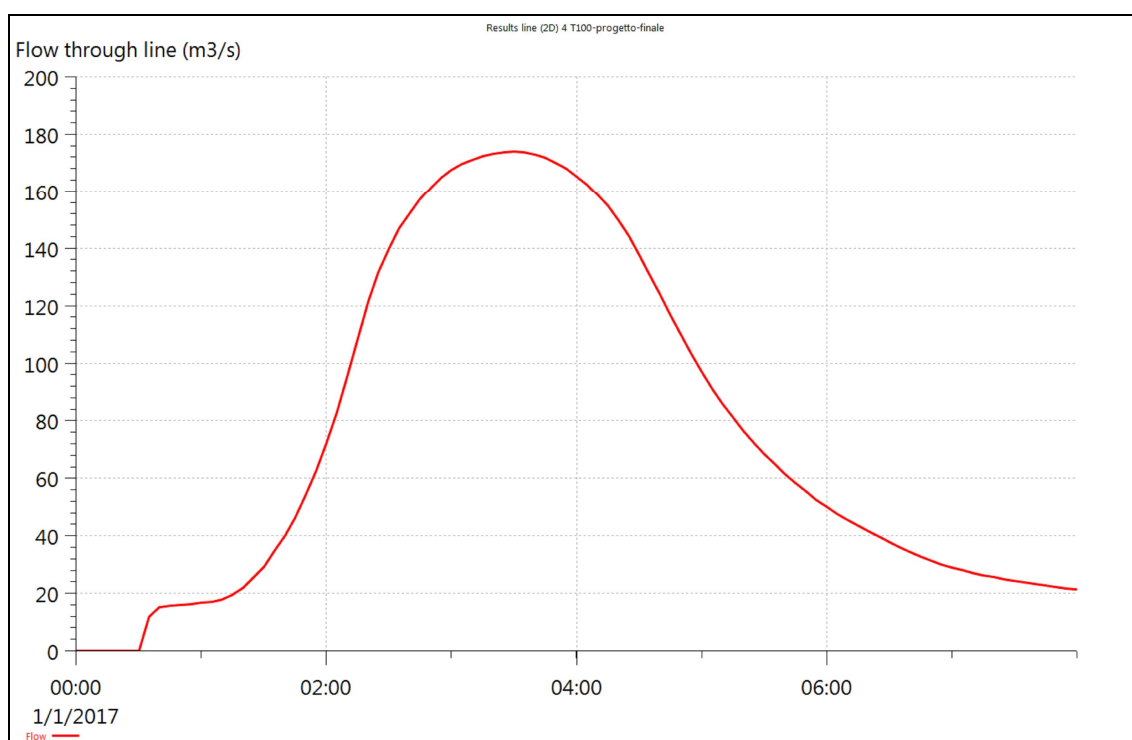
**Figura 35 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza del ponte di via Macina – assetto di progetto**



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

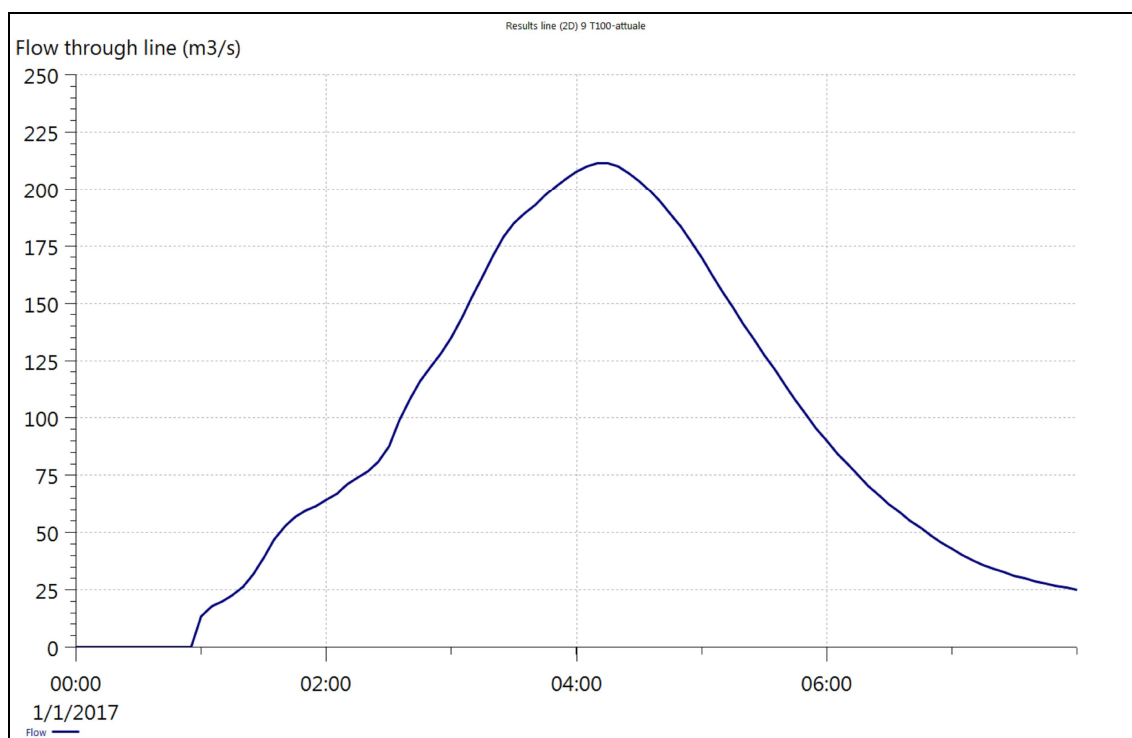


**Figura 36 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza del ponte di via Cherio – stato di fatto**

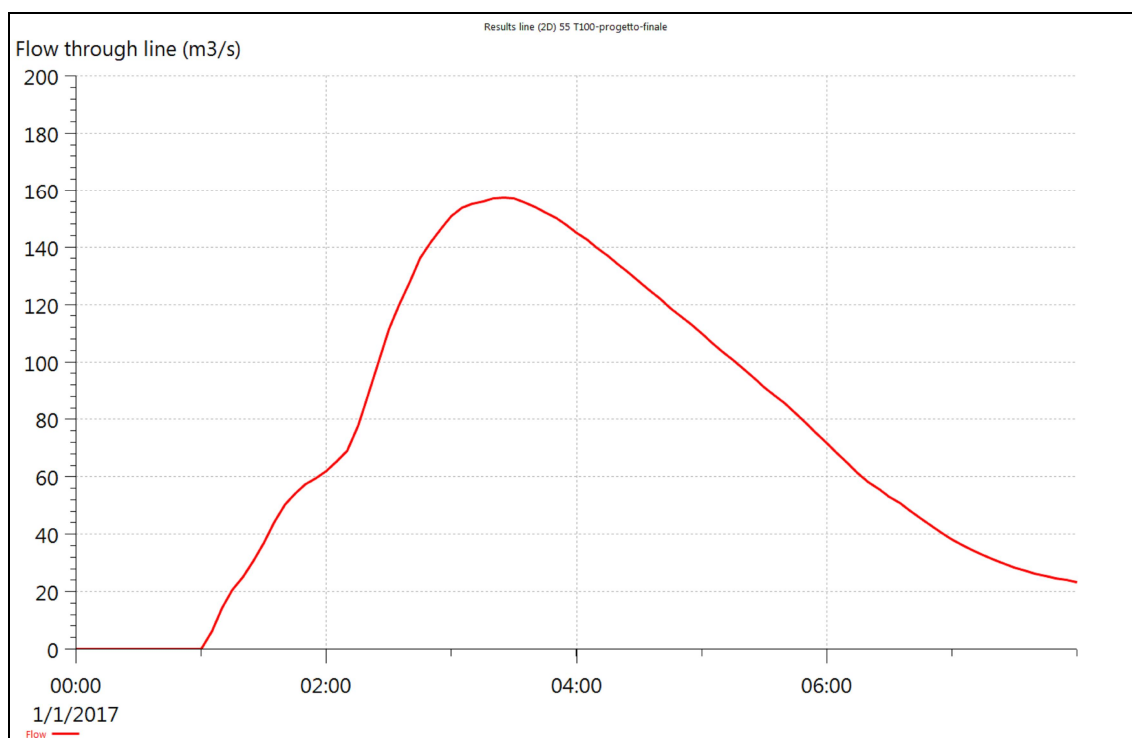


**Figura 37 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza del ponte di via Cherio – assetto di progetto**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 38 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio, a valle della confluenza con il T. Tadone e il T. Malmera, in corrispondenza del ponte di via Montecchi – stato di fatto**



**Figura 39 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio, a valle della confluenza con il T. Tadone e il T. Malmera, in corrispondenza del ponte di via Montecchi – assetto di progetto**

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

Pertanto, gli interventi in progetto consentono di ridurre la portata di piena al colmo a circa 160 m<sup>3</sup>/s nei pressi del tratto terminale del fiume Cherio in Comune di Trescore Balneario. Tale valore di portata è praticamente coincidente con il valore della portata al colmo di evento decennale nello stato attuale (cfr. Figura 3).

### 3.4 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI CON RIFERIMENTO AI MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO

Nel presente paragrafo vengono presentati i risultati del modello idraulico bidimensionale in corrispondenza dei manufatti di attraversamento, al fine di definire le condizioni di funzionamento degli stessi. In particolare, sono state confrontate le quote di intradosso delle opere di attraversamento con il livello della piena centennale, sia con riferimento allo stato di fatto, sia all'assetto di progetto (in tal caso i ponti posti in località Calvarola non sono più presenti, in quanto nell'assetto di progetto è prevista la loro demolizione).

**Tabella 2 – Verifica della condizioni di funzionamento dei ponti con riferimento alla piena con T=100 anni – stato di fatto**

Nome ponte	Sezione AdBPo	quota intradosso	quota piena T=100 anni	Franco di sicurezza	Funzionamento
		[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	
Ponte ad arco - via Mattei	37	262.62	262.23	0.4	Pelo libero
Ponte loc. Calvarola	35A	257,38	260.00	-2.6	Tracimato
Ponte loc. Calvarola	080P	257,31	259.75	-2.4	Tracimato
Via Macina	075P	253,81	254.45	-0.6	In pressione
Via Cherio	31	250,08	251.3	-1.2	In pressione

**Tabella 3 – Verifica della condizioni di funzionamento dei ponti con riferimento alla piena con T=100 anni – assetto di progetto**

Nome ponte	Sezione AdBPo	quota intradosso	quota piena T=100 anni	Franco di sicurezza	Funzionamento
		[m s.m.]	[m s.m.]	[m]	
Ponte ad arco - via Mattei	37	262.62	262.23	0.4	Pelo libero
Via Macina	075P	253,81	253.8	0	In pressione
Via Cherio	31	250,08	251.2	-1.1	In pressione

Dall'analisi dei dati sopra riportati emerge che l'assetto di progetto non migliora il funzionamento idraulico dei ponti (ad eccezione di quelli in località Calvarola che vengono demoliti). Questo perché con le opere di laminazione di monte ("Calvarola" e "Brignoli") si

A.T.P.						Consulenti		
			 Archeo Studi Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

riduce la portata di piena complessiva e si riducono gli allagamenti, mentre si modifica poco la portata che defluisce all'interno dell'alveo inciso e quindi al di sotto dei ponti.



A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

## 4. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA IDRAULICO DELLE OPERE IN PROGETTO

### 4.1 GENERALITÀ

Le opere in progetto previste lungo il fiume Cherio in Comune di Trescore Balneario sono, procedendo da monte verso valle, le seguenti:

- area di laminazione golenale, denominata “Calvarola”, di volumetria pari a circa 60'000 m<sup>3</sup> e superficie massima pari a circa 50'000 m<sup>2</sup>, posta fuori linea rispetto al fiume Cherio, in sponda sinistra, comprensiva di manufatti idraulici di derivazione e scarico;
- area di laminazione golenale, denominata “Brignoli”, di volumetria pari a circa 30'000 m<sup>3</sup> e superficie massima pari a circa 24'000 m<sup>2</sup>, posta fuori linea rispetto al fiume Cherio, in sponda destra, comprensiva di manufatti idraulici di derivazione e scarico;
- area di espansione golenale, denominata “Macina”, caratterizzata da una superficie pari a circa 30'000 m<sup>2</sup>, posta in linea rispetto al fiume Cherio;
- area di espansione golenale, denominata “Radici”, caratterizzata da una superficie pari a circa 42'000 m<sup>2</sup>, posta in linea rispetto al fiume Cherio;
- area di laminazione golenale, denominata “Molino dei Frati”, di volumetria pari a circa 520'000 m<sup>3</sup> e superficie massima pari a circa 200'000 m<sup>2</sup>, posta fuori linea rispetto al fiume Cherio, in sponda sinistra, comprensiva di manufatti idraulici di derivazione e scarico;

Oltre al sopra citato sistema di aree di laminazione e di espansione golenale, il progetto include diversi tratti di opere arginali, in terra o in muratura, finalizzate alla protezione delle infrastrutture poste nell'intorno del tratto fluviale considerato.

Nei paragrafi seguenti vengono descritte le caratteristiche principali delle singole opere idrauliche.

### 4.2 AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “CALVAROLA”

L'area di laminazione golenale “Calvarola” è un'opera di invaso delle piene del fiume Cherio, da realizzare all'interno di un'area attualmente interessata dalla presenza di insediamenti produttivi. L'area in questione è parte integrante dell'alveo di piena del fiume Cherio, infatti, anche in occasione di eventi di piena non eccezionali, tutta l'area risulta essere interessata da fenomeni di esondazione.

A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

Per poter realizzare l'area di laminazione occorre delocalizzare gli insediamenti produttivi presenti, demolire le relative infrastrutture, regolarizzare il livello del piano campagna, realizzare l'arginatura di contenimento dell'invaso e le opere per consentire lo sfioro delle piene del Cherio e il successivo svuotamento.

L'invaso di laminazione, costituito da un unico comparto, è caratterizzato da un volume complessivo di 60'000 m<sup>3</sup>.

Per ottenere tale volume di invasore occorre effettuare una regolarizzazione dell'attuale piano campagna attraverso uno scavo medio di circa 1.4 m, a cui corrisponde un volume di circa 90'000 m<sup>3</sup> (parte di tale quantitativo verrà riutilizzato all'interno del cantiere per la formazione delle arginature perimetrali).

Nella Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'area di laminazione e nella Figura 41 è riportata la planimetria dell'invaso con indicate le principali opere idrauliche.

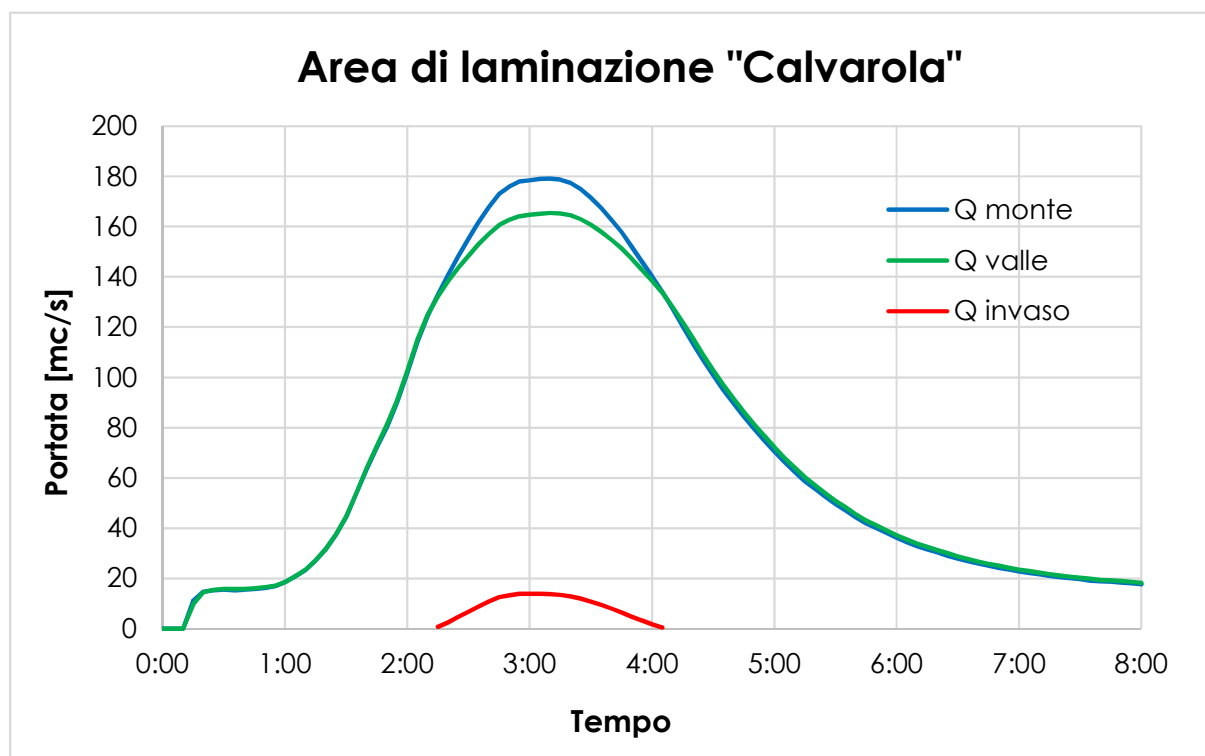
**Tabella 4 – Caratteristiche area di laminazione golenale “Calvarola”**

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Quota di fondo [m s.m.]	Quota di massima regolazione [m s.m.]	Quota coronamento argini [m s.m.]	Superficie alla quota di massima regolazione [m <sup>2</sup> ]	Superficie alla quota di fondo [m <sup>2</sup> ]
<b>Area laminazione golenale “Calvarola”</b>	60'000	258.5 ÷256.5	259.1	262.0÷261.0	50'000	42'000

L'ingresso delle portate di piena del fiume Cherio avviene attraverso la soglia di derivazione, caratterizzata da una lunghezza pari a 60 m e da una quota di sommità pari a 259.15 m s.m.. La soglia di derivazione è formata da massi cementati, con all'interno una struttura in c.a. che svolge la funzione di profilo sfiorante antierosione.

Nella Figura 40 sono riportati gli idrogrammi di piena in corrispondenza della soglia di derivazione. La portata al colmo sfiorata è quindi pari a circa 15 m<sup>3</sup>/s e il volume dell'idrogramma sfiorato è pari a circa 60'000 m<sup>3</sup>.

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei lavori pubblici della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 40 – Idrogrammi di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza dell'area di laminazione "Calvarola"**

L'area di laminazione golenale viene svuotata interamente a gravità, attraverso un manufatto di scarico posto con una quota di fondo pari a 256.5 m s.m., costituito da un manufatto in c.a. che passa all'interno dell'argine perimetrale, caratterizzato da una sezione quadrata 2 x 2 m. Tale manufatto è munito di:

- una paratoia piana in acciaio zincato di dimensioni 2 x 2 m, posta in corrispondenza della sezione di imbocco, per regolare la portata di svuotamento dell'invaso. Considerando di lasciare la paratoia aperta di 50 cm rispetto al fondo, si ha che il tempo necessario al completo svuotamento dell'invaso è pari a circa 24 ore;
- una valvola a clapet, posta in corrispondenza della sezione di sbocco, lato fiume, per evitare l'ingresso delle acque del Cherio per rigurgito.

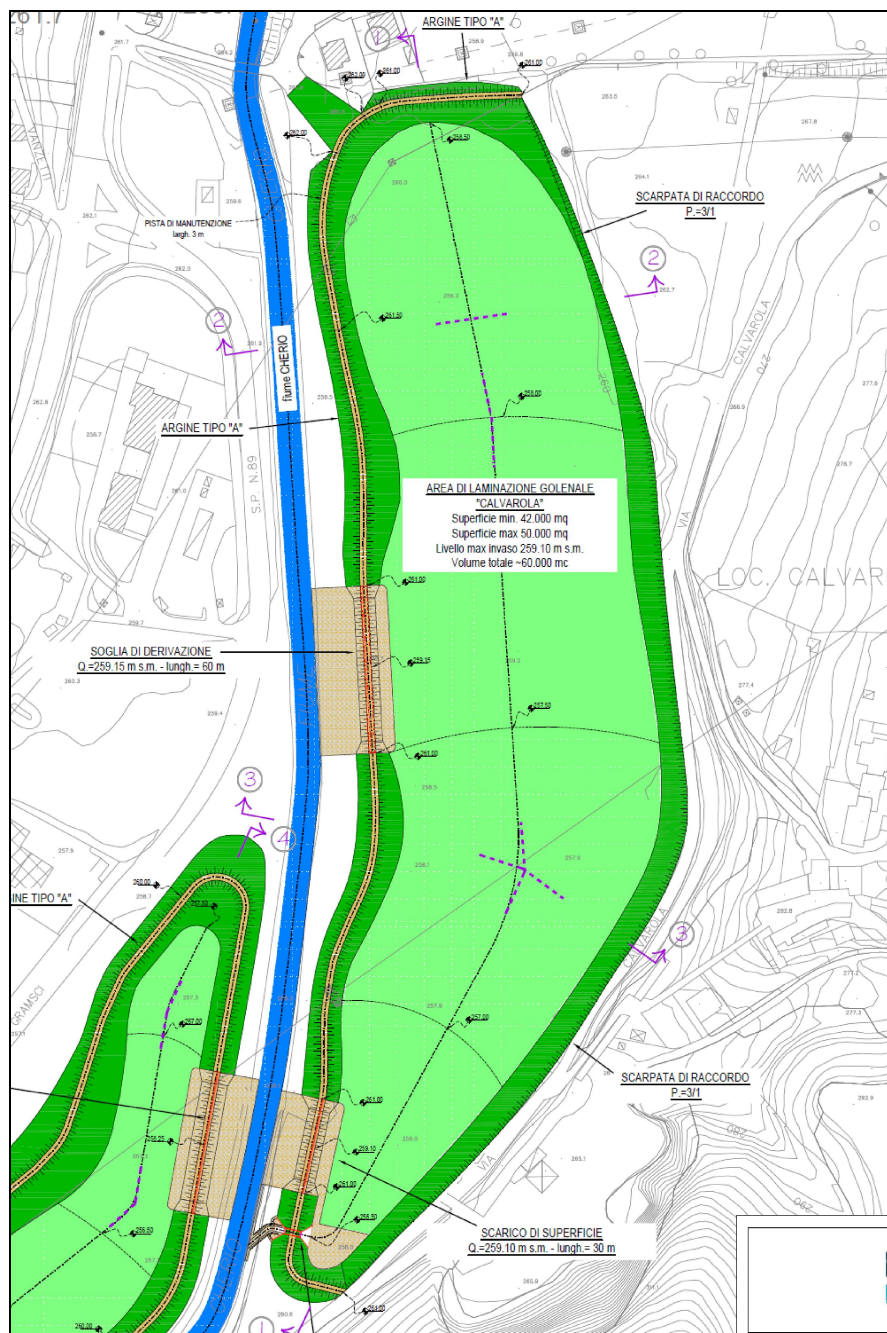
Gli argini perimetrali, posti solo tra il fiume Cherio e l'area di laminazione golenale, hanno uno sviluppo complessivo pari a circa 580 m e hanno un'altezza variabile tra 2.5 e 4.5 m; la larghezza del coronamento è pari a 3 m (ove è prevista la realizzazione di una pista di servizio in misto stabilizzato) e l'inclinazione dei paramenti è variabile con valore minimo pari a 1:2 (h:b).

Il funzionamento dell'area di laminazione è stato concepito prevedendo opere fisse, in parte

A.T.P.					Consulenti		
<b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	<b>ETATEC</b> STUDIO PIAZZI	<b>ldros</b> Ingegneria	<b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	<b>HATTUSAS</b> consulenza nei lavori d'arte della geologia e dell'ambiente	<b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNICHE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>
						<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>	

regolabili (es. altezza apertura paratoia di regolazione del manufatto di scarico), ma non soggette necessariamente a decisioni gestionali in tempo reale durante l'evento di piena.

Per poter monitorare il funzionamento dell'area di laminazione, si prevede di installare un idrometro in corrispondenza del manufatto di scarico, in modo da poter registrare la variazione del livello all'interno dell'invaso durante l'evento di piena e la successiva fase di svuotamento.



**Figura 41 – Planimetria dell'area di laminazione golenale "Calvarola"**



A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Idros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

L'invaso di laminazione di Calvarola, come ogni vaso artificiale, è provvisto di opere di scarico superficiale, indipendenti dalle opere che consentono il normale funzionamento dell'opera, tali da garantirne la sicurezza di funzionamento.

La funzione di queste opere di scarico è quella smaltire le portate in ingresso da monte che eccedano quelle invasabili.

Siccome l'invaso in oggetto è ottenuto attraverso la realizzazione di un'opera di contenimento in materiali sciolti, la normativa prescrive che attraverso lo scarico di superficie deve essere evacuata l'intera portata di piena.

L'invaso in oggetto rientra in quelli di competenza regionale essendo il volume di vaso minore di 100'000 m<sup>3</sup> ed essendo l'altezza massima degli argini perimetrali di contenimento dell'invaso inferiore a 15 m, per cui, secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva 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”, la portata di piena di progetto degli scarichi di superficie deve essere pari a:

- portata naturale di piena del bacino sotteso dallo sbarramento, valutata con riferimento ad un tempo di ritorno non inferiore a 100 anni;
- portata massima entrante nell'invaso dalle eventuali opere idrauliche in esso affluenti (canali di gronda, ecc.)
- l'eventuale effetto di laminazione svolto dall'invaso non deve essere messo in conto ai fini della determinazione della detta portata di progetto, eccetto che per gli invasi realizzati appositamente per la laminazione delle piene (come in questo caso).

Nel caso in oggetto, la portata afferente all'invaso di laminazione è pari a quella che entra nell'invaso durante un evento centennale attraverso le opere idrauliche previste, per cui la portata di piena da considerare per il dimensionamento dello scarico di superficie, trascurando cautelativamente l'effetto di laminazione, è pari a 15 m<sup>3</sup>/s.

La legge di efflusso dello sfioratore a stramazzone ad asse rettilineo è:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$  è la portata sfiorata, pari a 15 m<sup>3</sup>/s;
- $\mu$  è il coefficiente di efflusso, pari a 0.385, tenendo conto del profilo a larga soglia;
- $L$  è la lunghezza dello sfioratore [m];

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

- $h(t)$  è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una soglia larga 30 m si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0.45 m.

La quota della soglia di sfioro è stata posta pari a 259.10 m s.m., poco inferiore alla quota della soglia di derivazione. La soglia è costituita da massi cementati, con all'interno una struttura in c.a. che svolge la funzione di profilo sfiorante antierosione.

Considerando tale quota e sommando l'altezza idrica che si instaura al di sopra della soglia dello scarico di superficie, pari a 0.45 m, si ha che la quota di massimo invaso è pari a 259.55 m s.m..

Secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva 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”, siccome l'opera in oggetto presenta delle arginature perimetrali in materiali sciolti di altezza inferiore a 10 m e la lunghezza libera dell'invaso è inferiore a 1 km, il franco di sicurezza deve essere almeno pari ad 1 m.

Pertanto la quota di coronamento delle arginature perimetrali deve essere almeno pari a 260.60 m s.m.. Nel presente progetto la quota di coronamento delle arginature perimetrali è stata posta pari a 261 m s.m..

#### 4.3 AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “BRIGNOLI”

L'area di laminazione golenale “Brignoli” è un'opera di invaso delle piene del fiume Cherio, da realizzare all'interno di un'area attualmente interessata dalla presenza di depositi di inerti della ditta Brignoli. L'area in questione è parte integrante dell'alveo di piena del fiume Cherio, infatti, anche in occasione di eventi di piena non eccezionali, tutta l'area risulta essere interessata da fenomeni di esondazione.

Per poter realizzare l'area di laminazione occorre delocalizzare le attività produttive presenti, regolarizzare il livello del piano campagna, realizzare l'arginatura di contenimento dell'invaso e le opere per consentire lo sfioro delle piene del Cherio e il successivo svuotamento.

L'invaso di laminazione, costituito da un unico comparto, è caratterizzato da un volume complessivo di 30'000 m<sup>3</sup>.

Per ottenere tale volume di invaso occorre effettuare una regolarizzazione dell'attuale piano

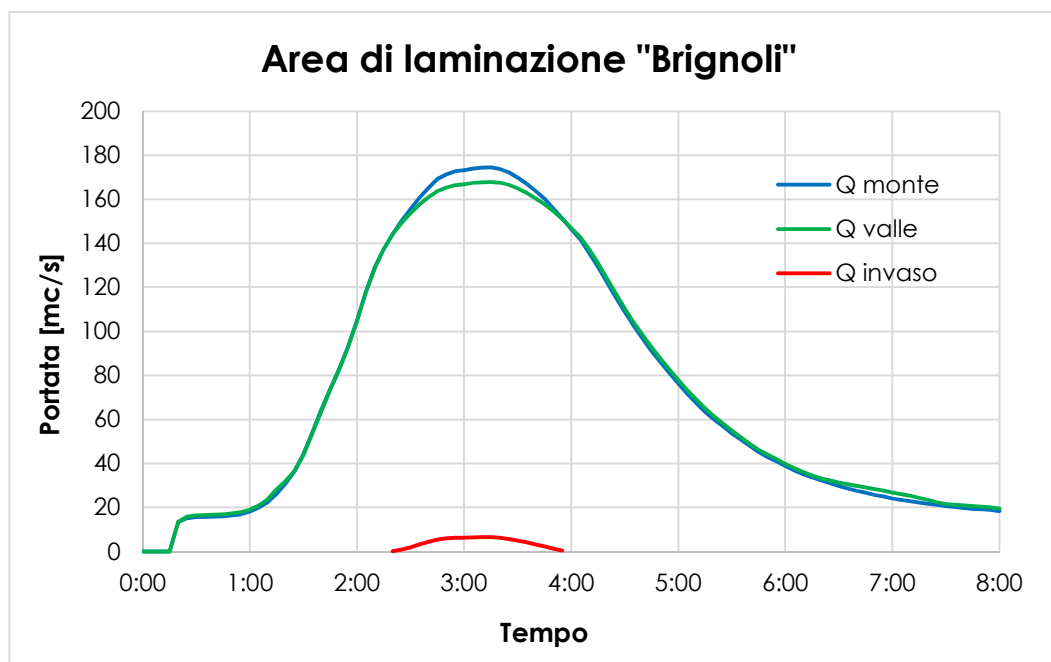
A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

campagna attraverso uno scavo medio di circa 1.3 m, a cui corrisponde un volume di circa 45'000 m<sup>3</sup> (parte di tale quantitativo verrà riutilizzato all'interno del cantiere per la formazione delle arginature perimetrali). Nella Tabella 5 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'area di laminazione e nella Figura 43 è riportata la planimetria dell'invaso con indicate le principali opere idrauliche.

**Tabella 5 – Caratteristiche area di laminazione golenale “Brignoli”**

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Quota di fondo [m s.m.]	Quota di massima regolazione [m s.m.]	Quota coronamento argini [m s.m.]	Superficie alla quota di massima regolazione [m <sup>2</sup> ]	Superficie alla quota di fondo [m <sup>2</sup> ]
<b>Area laminazione golenale “Brignoli”</b>	30'000	257.5 ÷255.5	258.15	260.0	24'000	20'000

Nella Figura 42 sono riportati gli idrogrammi di piena in corrispondenza della soglia di derivazione. La portata al colmo sfiorata è quindi pari a circa 10 m<sup>3</sup>/s e il volume dell'idrogramma sfiorato è pari a circa 30'000 m<sup>3</sup>.



**Figura 42 – Idrogrammi di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza dell'area di laminazione “Brignoli”**

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>ydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

L'ingresso delle portate di piena del fiume Cherio avviene attraverso la soglia di derivazione, caratterizzata da una lunghezza pari a 50 m e da una quota di sommità pari a 258.25 m s.m.. La soglia di derivazione è formata da massi cementati, con all'interno una struttura in c.a. che svolge la funzione di profilo sfiorante antierosione.

L'area di laminazione golenale viene svuotata interamente a gravità, attraverso un manufatto di scarico posto con una quota di fondo pari a 255.5 m s.m., costituito da un manufatto in c.a. che passa all'interno dell'argine perimetrale, caratterizzato da una sezione quadrata 2 x 2 m. Tale manufatto è munito di:

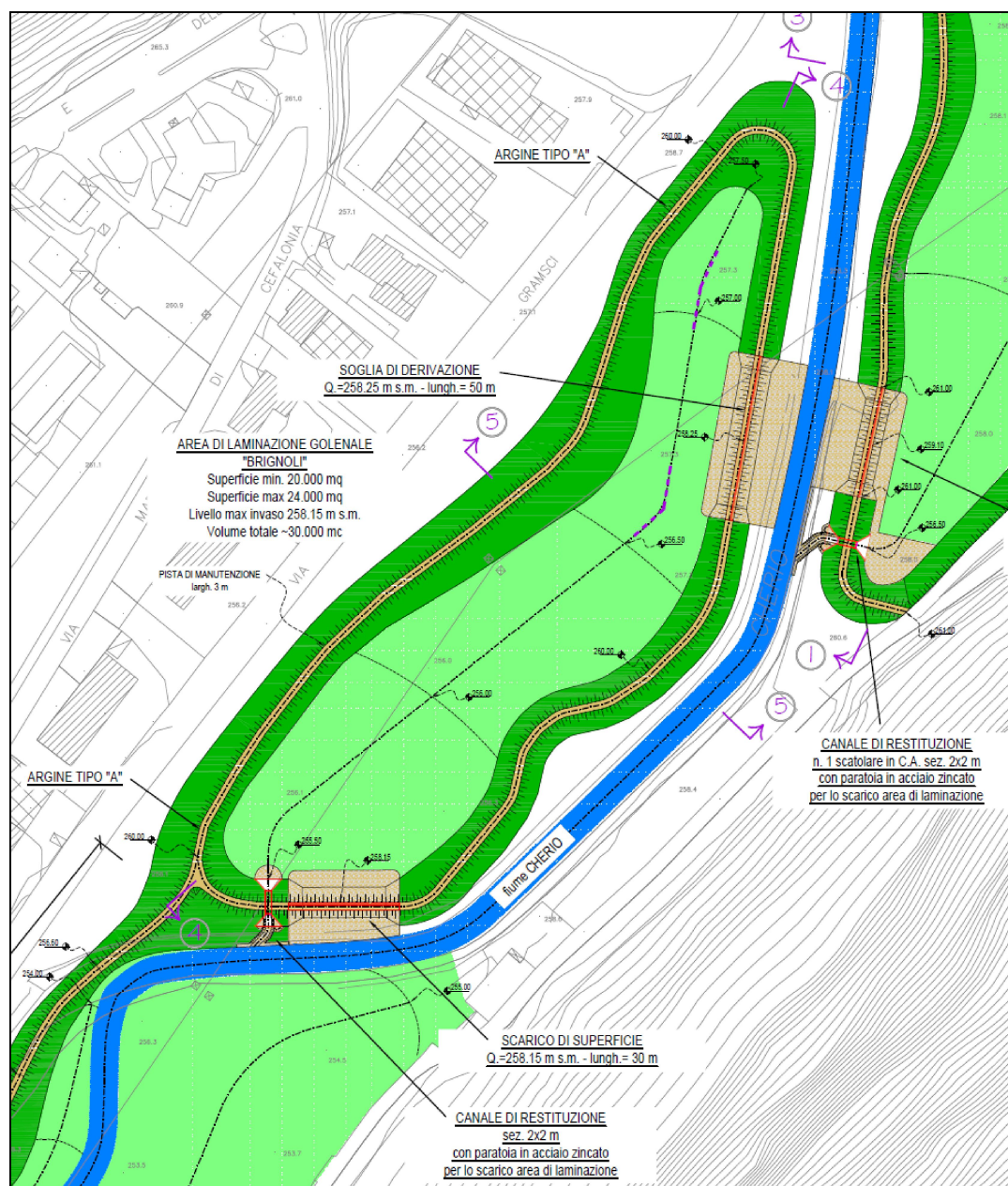
- una paratoia piana in acciaio zincato di dimensioni 2 x 2 m, posta in corrispondenza della sezione di imbocco, per regolare la portata di svuotamento dell'invaso. Considerando di lasciare la paratoia aperta di 50 cm rispetto al fondo, si ha che il tempo necessario al completo svuotamento dell'invaso è pari a circa 8 ore;
- una valvola a clapet, posta in corrispondenza della sezione di sbocco, lato fiume, per evitare l'ingresso delle acque del Cherio per rigurgito.

Gli argini perimetrali, posti lungo l'intero perimetro dell'area di laminazione golenale, hanno uno sviluppo complessivo pari a 770 m e hanno un'altezza variabile tra 2.5 e 4.5 m; la larghezza del coronamento è pari a 3 m (ove è prevista la realizzazione di una pista di servizio in misto stabilizzato) e l'inclinazione dei paramenti è variabile con valore minimo pari a 1:2 (h:b).

Il funzionamento dell'area di laminazione è stato concepito prevedendo opere fisse, in parte regolabili (es. altezza apertura paratoia di regolazione del manufatto di scarico), ma non soggette necessariamente a decisioni gestionali in tempo reale durante l'evento di piena.

Per poter monitorare il funzionamento dell'area di laminazione, si prevede di installare un idrometro in corrispondenza del manufatto di scarico, in modo da poter registrare la variazione del livello all'interno dell'invaso durante l'evento di piena e la successiva fase di svuotamento.

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ldros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 43 – Planimetria dell’area di laminazione goleNALE “Brignoli”**

L’invaso di laminazione di Calvarola, come ogni vaso artificiale, è provvisto di opere di scarico superficiale, indipendenti dalle opere che consentono il normale funzionamento dell’opera, tali da garantirne la sicurezza di funzionamento.

La funzione di queste opere di scarico è quella smaltire le portate in ingresso da monte che eccedano quelle invasabili.

Siccome l’invaso in oggetto è ottenuto attraverso la realizzazione di un’opera di contenimento



A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ydros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vostro campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

in materiali sciolti, la normativa prescrive che attraverso lo scarico di superficie deve essere evacuata l'intera portata di piena.

L'invaso in oggetto rientra in quelli di competenza regionale essendo il volume di vaso minore di 100'000 m<sup>3</sup> ed essendo l'altezza massima degli argini perimetrali di contenimento dell'invaso inferiore a 15 m, per cui, secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva 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”, la portata di piena di progetto degli scarichi di superficie deve essere pari a:

- portata naturale di piena del bacino sotteso dallo sbarramento, valutata con riferimento ad un tempo di ritorno non inferiore a 100 anni;
- portata massima entrante nell'invaso dalle eventuali opere idrauliche in esso affluenti (canali di gronda, ecc.)
- l'eventuale effetto di laminazione svolto dall'invaso non deve essere messo in conto ai fini della determinazione della detta portata di progetto, eccetto che per gli invasi realizzati appositamente per la laminazione delle piene (come in questo caso).

Nel caso in oggetto, la portata afferente all'invaso di laminazione è pari a quella che entra nell'invaso durante un evento centennale attraverso le opere idrauliche previste, per cui la portata di piena da considerare per il dimensionamento dello scarico di superficie, trascurando cautelativamente l'effetto di laminazione, è pari a circa 10 m<sup>3</sup>/s.

La legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo è:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$  è la portata sfiorata, pari a 10 m<sup>3</sup>/s;
- $\mu$  è il coefficiente di efflusso, pari a 0.385, tenendo conto del profilo a larga soglia;
- $L$  è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$  è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una soglia larga 30 m si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0.35 m.

La quota della soglia di sfioro è stata posta pari a 258.15 m s.m., poco inferiore alla quota della soglia di derivazione. La soglia è costituita da massi cementati, con all'interno una

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>ydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

struttura in c.a. che svolge la funzione di profilo sfiorante antierosione.

Considerando tale quota e sommando l'altezza idrica che si instaura al di sopra della soglia dello scarico di superficie, pari a 0.35 m, sia ha che la quota di massimo invaso è pari a 258.50 m s.m..

Secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva 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”, siccome l'opera in oggetto presenta delle arginature perimetrali in materiali sciolti di altezza inferiore a 10 m e la lunghezza libera dell'invaso è inferiore a 1 km, il franco di sicurezza deve essere almeno pari ad 1 m.

Pertanto la quota di coronamento delle arginature perimetrali deve essere almeno pari a 259.50 m s.m.. Nel presente progetto la quota di coronamento delle arginature perimetrali è stata posta pari a 260 m s.m..

#### 4.4 AREA DI ESPANSIONE GOLENALE “MACINA”

L'area di espansione golenale “Macina” è un'area ove lasciar defluire le piene del fiume Cherio, da realizzare all'interno di un'area attualmente interessata dalla presenza di insediamenti produttivi. L'area in questione è parte integrante dell'alveo di piena del fiume Cherio, infatti, anche in occasione di eventi di piena non eccezionali, tutta l'area risulta essere interessata da fenomeni di esondazione.

Per poter realizzare l'area di espansione fluviale occorre delocalizzare le attività produttive presenti, regolarizzare il livello del piano campagna e rimuovere le difese presenti lungo le sponde del fiume Cherio e realizzare le arginature di contenimento del livello di piena per proteggere la strada provinciale e le abitazioni a tergo della medesima.

Le operazioni di regolarizzazione dell'attuale piano campagna e delle arginature presenti lungo le sponde del Cherio, implicheranno uno scavo medio di circa 0.9 m, a cui corrisponde un volume di circa 30'000 m<sup>3</sup> (parte di tale quantitativo verrà riutilizzato all'interno del cantiere per la formazione delle arginature perimetrali).

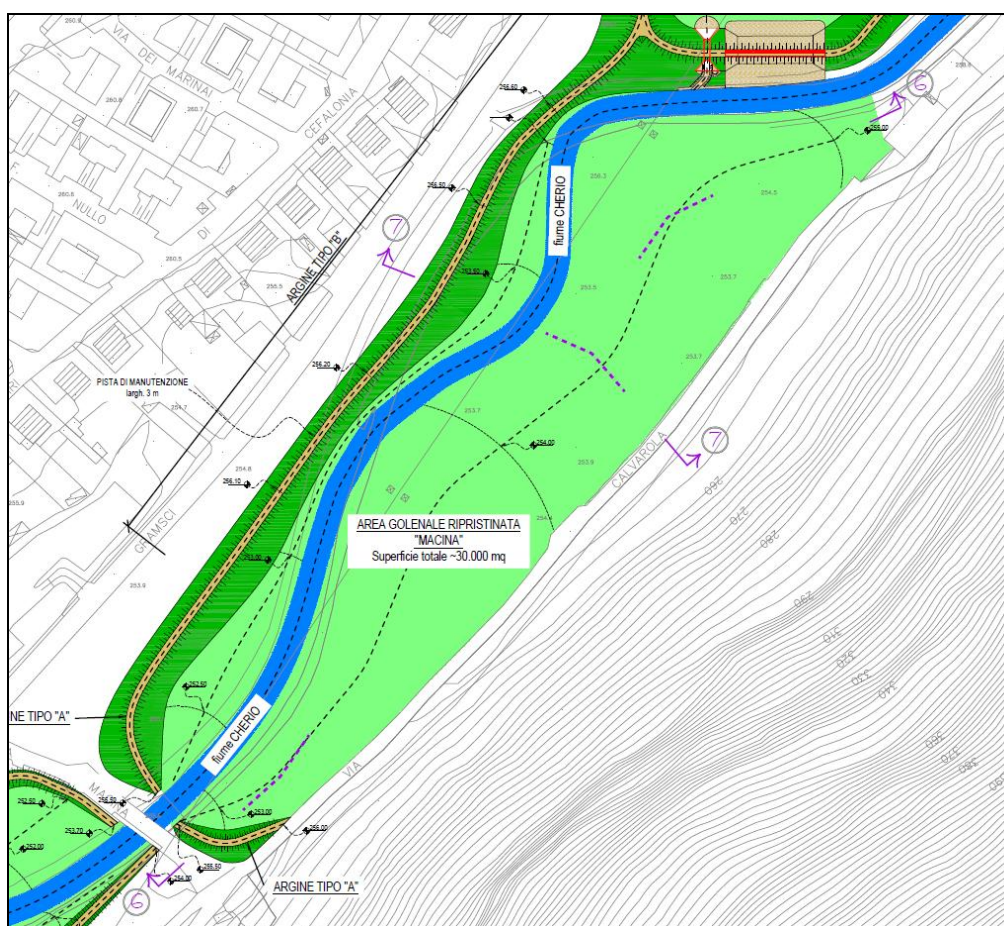
Nella Tabella 6 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'area in questione e nella Figura 44 è riportata la planimetria.

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ldros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

**Tabella 6 – Caratteristiche area di espansione golenale “Macina”**

	<b>Superficie alla quota di fondo [m²]</b>	<b>Quota di fondo [m s.m.]</b>	<b>Quota coronamento argini [m s.m.]</b>
<b>Area espansione golenale “Macina”</b>	30'000	255÷252.5	257.0÷255.5

Gli argini perimetrali, posti lungo l'intero perimetro dell'area di espansione golenale, hanno uno sviluppo complessivo pari a circa 400 m e hanno un'altezza variabile tra 2 e 3 m; la larghezza del coronamento è pari a 3 m (ove è prevista la realizzazione di una pista di servizio in misto stabilizzato) e l'inclinazione dei paramenti è variabile con valore minimo pari a 1:2 (h:b).



**Figura 44 – Planimetria dell'area di espansione golenale “Macina”**

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Idros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

#### 4.5 AREA DI ESPANSIONE GOLENALE “RADICI”

L'area di espansione golenale “Radici” è un'area ove lasciar defluire le piene del fiume Cherio, da realizzare all'interno di un'area attualmente interessata solo marginalmente dalla presenza di insediamenti produttivi. L'area in questione è parte integrante dell'alveo di piena del fiume Cherio, infatti, anche in occasione di eventi di piena non eccezionali, tutta l'area risulta essere interessata da fenomeni di esondazione.

Per poter realizzare l'area di espansione fluviale occorre delocalizzare le attività produttive presenti, regolarizzare il livello del piano campagna e rimuovere le difese presenti lungo le sponde del fiume Cherio e realizzare le arginature di contenimento del livello di piena per proteggere la strada provinciale e le abitazioni limitrofe.

Le operazioni di regolarizzazione dell'attuale piano campagna e delle arginature presenti lungo le sponde del Cherio implicheranno uno scavo medio di circa 1.6 m, a cui corrisponde un volume di circa 83'000 m<sup>3</sup> (parte di tale quantitativo verrà riutilizzato all'interno del cantiere per la formazione delle arginature perimetrali). Nella Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'area in questione e nella Figura 45 è riportata la planimetria.

**Tabella 7 – Caratteristiche area di espansione golenale “Radici”**

	<b>Superficie alla quota di fondo [m<sup>2</sup>]</b>	<b>Quota di fondo [m s.m.]</b>	<b>Quota coronamento argini [m s.m.]</b>
<b>Area espansione golenale “Radici”</b>	47'000	252.0÷248	254.0÷252.5

Gli argini perimetrali, posti lungo l'intero perimetro dell'area di espansione golenale, hanno uno sviluppo complessivo pari a circa 1'250 m e hanno un'altezza variabile tra 2 e 4.5 m; la larghezza del coronamento è pari a 3 m (ove è prevista la realizzazione di una pista di servizio in misto stabilizzato) e l'inclinazione dei paramenti è variabile con valore minimo pari a 1:2 (h:b).





Figura 45 – Planimetria dell'area di espansione golendale "Radici"



A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

#### 4.6 AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE “MOLINO DEI FRATI”

L'area di laminazione golenale “Molino dei Frati” è un'opera di invaso delle piene del fiume Cherio, da realizzare all'interno di un'area attualmente interessata dalla presenza di attività agricola. L'area in questione è parte integrante dell'alveo di piena del fiume Cherio, infatti, anche in occasione di eventi di piena non eccezionali, tutta l'area risulta essere interessata da fenomeni di esondazione.

Per poter realizzare l'area di laminazione occorre, essenzialmente, realizzare l'arginatura di contenimento dell'invaso e le opere per consentire lo sfioro delle piene del Cherio e il successivo svuotamento. In tale caso non è necessario procedere ad interventi di regolarizzazione del piano campagna, mentre occorre rimuovere le serre attualmente presenti. L'invaso di laminazione, costituito da un unico comparto, è caratterizzato da un volume complessivo di 520'000 m<sup>3</sup>.

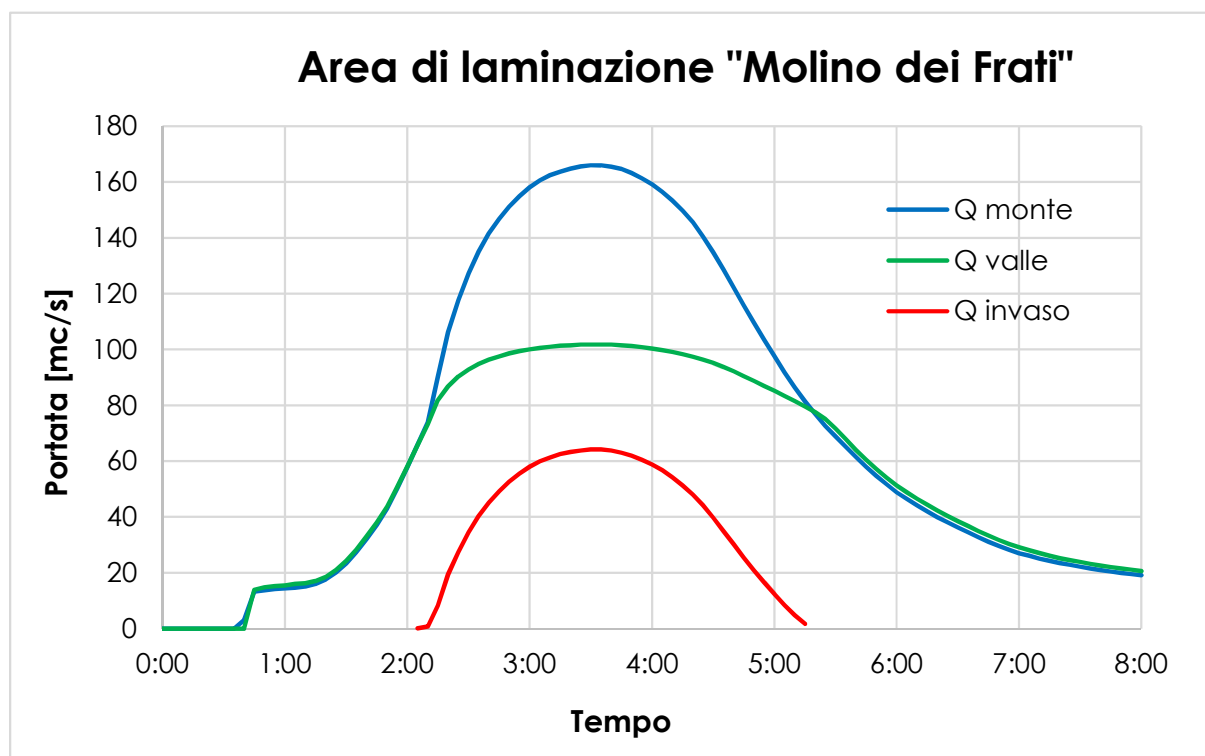
Nella Tabella 8 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'area di laminazione e nella Figura 47 è riportata la planimetria dell'invaso con indicate le principali opere idrauliche.

**Tabella 8 – Caratteristiche area di laminazione golenale “Molino dei Frati”**

	Volume [m <sup>3</sup> ]	Quota di fondo [m s.m.]	Quota di massima regolazione [m s.m.]	Quota coronamento argini [m s.m.]	Superficie alla quota di massima regolazione [m <sup>2</sup> ]	Superficie alla quota di fondo [m <sup>2</sup> ]
<b>Area laminazione golenale “Molino dei Frati”</b>	520'000	246 ÷ 240.7	246.2	251 ÷ 249	200'000	185'000

Nella Figura 46Figura 42 sono riportati gli idrogrammi di piena in corrispondenza della soglia di derivazione. La portata al colmo sfiorata è quindi pari a circa 65 m<sup>3</sup>/s e il volume dell'idrogramma sfiorato è pari a circa 520'000 m<sup>3</sup>.

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ydros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 46 – Idrogrammi di piena centennale del fiume Cherio in corrispondenza dell’area di laminazione “Molino dei Frati”**

L’ingresso delle portate di piena del fiume Cherio avviene attraverso la soglia di derivazione, caratterizzata da una lunghezza pari a 40 m e da una quota di sommità pari a 246.50 m s.m.. La soglia di derivazione è formata da massi cementati, con all’interno una struttura in c.a. che svolge la funzione di profilo sfiorante antierosione.

Per ottimizzare il processo di sfioro è prevista la realizzazione, all’interno dell’alveo del Cherio, di un’opera di regolazione che deve limitare il deflusso della portata verso valle e innalzare il livello a monte, in modo tale da ottenere un maggior livello idrico sulla soglia di derivazione e consentire di sfruttare tutto il volume di invaso disponibile in occasione dell’evento di piena di riferimento. Tale manufatto in c.a. è essenzialmente costituito da due luci di 5 m di larghezza, ciascuna con annessa paratoia di regolazione in acciaio zincato, di dimensioni 5x3 m.

L’altezza di apertura delle paratoie è stata definita nel presente progetto pari a 3 m dal fondo alveo.

L’area di laminazione golenale viene svuotata interamente a gravità, attraverso un manufatto di scarico posto con una quota di fondo pari a 240.7 m s.m., costituito da due manufatti in c.a. che passano all’interno dell’argine perimetrale, ciascuno caratterizzato da una sezione

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIAZZOLI	 <b>ydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei lavori d'arte della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

quadrata 2 x 2 m. Ogni manufatto è munito di:

- una paratoia piana in acciaio zincato di dimensioni 2 x 2 m, posta in corrispondenza della sezione di imbocco, per regolare la portata di svuotamento dell'invaso. Considerando di lasciare la paratoia aperta di 40 cm rispetto al fondo, si ha che il tempo necessario al completo svuotamento dell'invaso è pari a circa 20 ore;
- una valvola a clapet, posta in corrispondenza della sezione di sbocco, lato fiume, per evitare l'ingresso delle acque del Cherio per rigurgito.

Gli argini perimetrali, posti solo tra il fiume Cherio e l'area di laminazione golenale, hanno uno sviluppo complessivo pari a circa 2'250 m e hanno un'altezza variabile tra 0 e 8.3 m; la larghezza del coronamento è pari a 3 m (ove è prevista la realizzazione di una pista di servizio in misto stabilizzato) e l'inclinazione dei paramenti è variabile con valore minimo pari a 1:2 (h:b).

L'intervento di realizzazione dell'area di laminazione golenale si completa con la realizzazione di alcuni argini lungo la sponda destra del fiume Cherio, finalizzati a proteggere le infrastrutture limitrofe (es. depuratore comunale).

Il funzionamento dell'area di laminazione è stato concepito prevedendo opere fisse, in parte regolabili (es. altezza apertura paratoie di regolazione dei manufatti di restringimento e di scarico), ma non soggette necessariamente a decisioni gestionali in tempo reale durante l'evento di piena.

Per poter monitorare il funzionamento dell'area di laminazione, si prevede di installare un idrometro in corrispondenza del manufatto di restringimento e uno in prossimità del canale di scarico, in modo da poter registrare la variazione del livello in prossimità dell'opera di presa e all'interno dell'invaso durante l'evento di piena e la successiva fase di svuotamento.

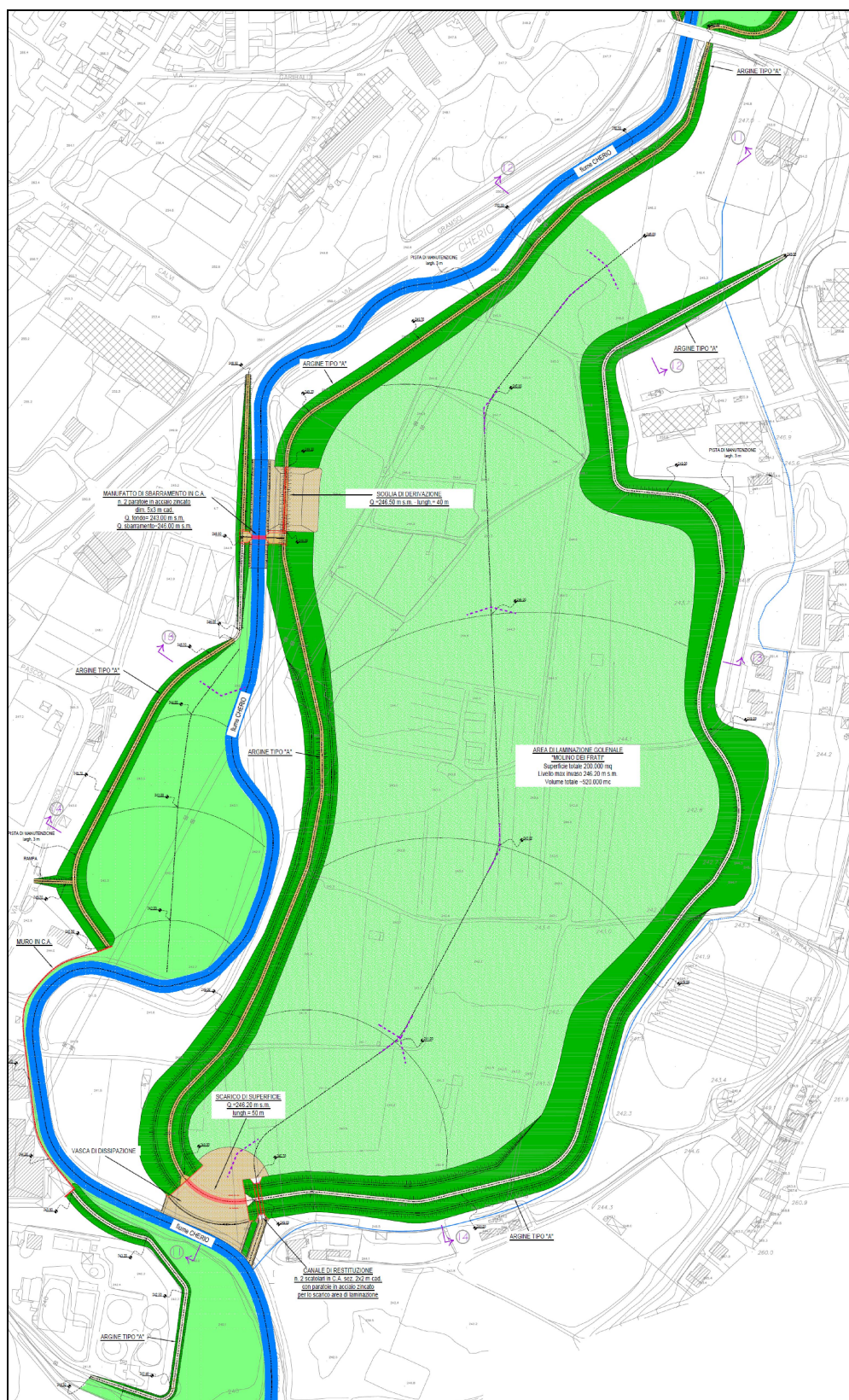


Figura 47 – Planimetria dell'area di laminazione golenale "Molino dei Frati"



A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

Il recente Regolamento Dighe (da qui in avanti denominato RID) di cui al D. MIT. 26/06/2014 (G.U. 08/07/2014 n. 156) ha modificato i requisiti richiesti per lo opere di scarico di superficie e di fondo degli sbarramenti di competenza statale.

Le Norme del suddetto Regolamento “*si applicano a tutti gli sbarramenti di ritenuta del territorio nazionale. Per gli sbarramenti la cui altezza non supera i 10 m e che determinano un volume di invaso non superiore a 100.000 m<sup>3</sup>, come definiti al cap. B1, l’Amministrazione competente alla vigilanza sulla sicurezza potrà decidere caso per caso e, in relazione alle caratteristiche dell’impianto di ritenuta, quali delle norme seguenti siano da applicare*”. Pertanto, siccome l’invaso di laminazione di Molino dei Frati ha un volume di invaso superiore a 100'000 m<sup>3</sup>, esso non può rifarsi alla normativa regionale, come nel caso degli invasi precedenti, ma occorre che sia conforme con quanto previsto dal RID.

Nei riguardi degli scarichi di superficie il nuovo RID prescrive (art. C.1.): “*Gli scarichi di superficie della diga devono essere dimensionati per l’onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno di ..... 3000 anni per le dighe in materiali sciolti, tenendo conto dell’effetto di laminazione esercitato dall’invaso.*”

Inoltre nei riguardi degli scarichi di fondo il RID prescrive (art. C.1.): “*Gli scarichi a battente ..... devono rendere possibile la vuotatura del 75% del volume d’invaso del serbatoio a partire dalla quota massima di regolazione in un periodo di 3 giorni se (come nel caso di cui trattasi) la capacità del serbatoio è inferiore o uguale a 50 milioni di m<sup>3</sup>*”.

È pertanto necessario calcolare il valore della portata di piena corrispondente al tempo di ritorno 3000 anni del fiume Cherio.

Mediante le simulazioni modellistiche condotte nell’ambito dello *Studio-AdBPo* sono stati calcolati i valori delle portate di piena in corrispondenza della sezione di ingresso nella vasca di cui trattasi. Ai fini del presente progetto e tenuto conto dei rilevanti limiti di approssimazione intrinseci in stime proiettate al tempo di ritorno di 3000 anni, si è ritenuto di procedere ad una stima basata sulla proiezione statistica a 3000 anni secondo Gumbel delle portate al colmo calcolate con il suddetto modello idrodinamico per i tempi di ritorno di 10, 50, 100, 200 e 500 anni.

Si richiama la legge di Gumbel:

$$y = \alpha(Q_{colmo} - u) = \ln \left[ -\ln \left( 1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

in cui:



A.T.P.					Consulenti			
						<i>Dott. Nat. Giambattista Rivellini</i>	<i>Dott. Arch. Giovanni Mazza</i>	<i>Dott. For. Stefano Enfissi</i>

- $y$  è la variabile ridotta di Gumbel
- $\alpha$  e  $u$  sono i parametri della distribuzione di Gumbel
- $T$  è il tempo di ritorno.

Conoscendo i valori di  $Q_{colmo}$  si può trovare la retta interpolare  $y=\alpha(Q_{colmo}-u)$  e quindi sul prolungamento di tale retta i valori di  $Q_{colmo}$  corrispondenti a  $T = 3000$  anni.

**Tabella 9 – Portate di piena del F. Cherio in corrispondenza dell'area di laminazione di Molino dei Frati**

$T$ (anni)	$Q_{colmo}$ (m <sup>3</sup> /s)
10	130.0
50	175.0
100	190.0
200	210.0
500	230.0

Applicando quindi la suddetta procedura di regolarizzazione secondo Gumbel basata sulla legge rettilinea che unisce i valori di  $y$  e  $Q_{colmo}$ , si ottengono i valori esposti nella seguente tabella:

$T$ (anni)	$y$ (Gumbel)	$Q$ Garbogera (modello) (m <sup>3</sup> /s)	$Q$ Garbogera (Gumbel) (m <sup>3</sup> /s)
10	2.25	130	
50	3.90	175	
100	4.60	190	
200	5.30	210	
500	6.21	230	
3000	8,01		280

Si ottiene pertanto che la portata di piena del F. Cherio corrispondente a  $T = 3000$  anni è pari a:

$$Q_{colmo} = 280 \text{ m}^3/\text{s}$$

La portata di progetto con cui deve essere dimensionato lo scarico di superficie è data dalla piena a 3'000 anni di tempo di ritorno che, in relazione alla geometria dell'opera di presa prevista in progetto, viene sfiorata all'interno dell'invaso e da questo giunge allo scarico di superficie.

A.T.P.					Consulenti			
						Dott. Nat. <i>Giambattista Rivellini</i>	Dott. Arch. <i>Giovanni Mazza</i>	Dott. For. <i>Stefano Enfissi</i>

Attraverso il modello idraulico bidimensionale implementato nell'ambito del presente progetto è stata simulata la piena con T=3000 anni, da cui si è potuto verificare che la portata al colmo che entra all'interno dell'invaso e che poi deve essere smaltita dallo scarico di superficie, tenuto conto dell'effetto di invaso, è pari a circa 120 m<sup>3</sup>/s.

Per il dimensionamento dello sfioratore di emergenza si è utilizzata la legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$  è la portata sfiorata, pari a 120 m<sup>3</sup>/s (considerando l'effetto di laminazione);
- $\mu$  è il coefficiente di efflusso, pari a 0.48, tenendo conto del profilo *Creager-Scimemi*;
- $L$  è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$  è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una larghezza utile della soglia sfiorante pari a 50 m, si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 1.1 m.

La quota della soglia di sfioro dello scarico di superficie è posta a quota 246.20 m s.m., per cui il livello di massimo invaso risulta essere pari a 247.3 m s.m..

Per la determinazione della quota delle arginature perimetrali si è fatto riferimento a quanto contenuto nel nuovo Regolamento Dighe.

Secondo quanto indicato dal RID, siccome l'opera in oggetto presenta delle arginature perimetrali in materiali sciolti di altezza inferiore a 15 m, il franco netto di sicurezza deve essere almeno pari ad 1.5 m.

A tale valore deve essere aggiunto il previsto abbassamento del coronamento derivante dai cedimenti del terreno e del rilevato dopo il termine di costruzione, nonché quelli derivanti dalle azioni sismiche; il RID afferma che tali cedimenti devono essere assunti almeno pari a 0.5 cm per metro di altezza del rilevato. Nel caso in oggetto, considerando che l'altezza massima del rilevato è pari a circa 8 m, si ha che il cedimento del coronamento può essere assunto pari a 4 cm, per cui il valore del franco netto sale a 1.54 m.

Il franco netto è dato dalla differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del massimo invaso, incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento ovvero quella di massima regolazione incrementata della semialtezza dell'onda da sisma di progetto. Secondo i contenuti dell'art. C2 del RID secondo cui “*si assume che il franco netto*

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNICHE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

*così garantito [con semionda generata dal vento] sia sempre adeguato nei confronti dell'onda generata dal sisma*", per cui la valutazione del franco netto è stata condotta considerando l'effetto del vento.

Considerando, a favore di sicurezza, il valore massimo della velocità del vento riportata nell'art.C2, pari a 100 km/h e un fetch di 1 km (in realtà il fetch dell'invaso in oggetto è pari a circa 800 m), si ha che l'ampiezza dell'onda è pari a 0.27 m, per cui la semionda è pari a 0.135 m.

Per il calcolo del franco netto occorre considerare anche i fenomeni di interazione tra moto ondosso e diga, quali "riflessione" e "risalita" (run-up). Sempre secondo i contenuti dell'art. C2 il valore di riferimento del run-up per un fetch di 1 km è pari a 0.033 m.

Pertanto, il valore del franco netto è pari a:

$$F_{netto} = H_{coronamento} - (H_{massimo\ invaso} + h_{semionda\ vento} + h_{run-up}) - h_{cedimento\ argine} > 1.5\ m$$

quindi

$$H_{coronamento} > (H_{massimo\ invaso} + h_{semionda\ vento} + h_{run-up}) + h_{cedimento\ argine} + 1.5\ m$$

$$H_{coronamento} > (247.3 + 0.135 + 0.033) + 0.04 + 1.5 = 249\ m$$

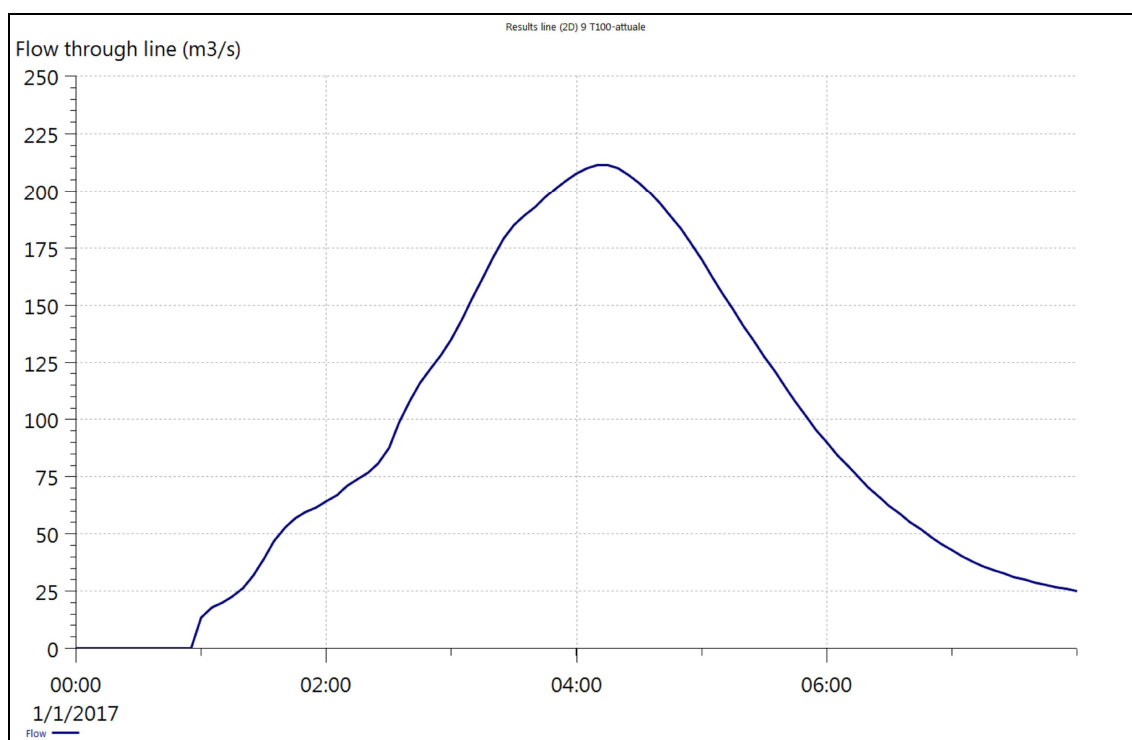
Quindi, la quota di coronamento delle arginature perimetrali dell'invaso di Molino dei Frati è stata posta pari a 249 m s.m..

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>Hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

## 5. VALUTAZIONE DELL'EFFICACIA DELL'INTERVENTO NEI CONFRONTI DEI TERRITORI DI VALLE

Le opere previste in progetto lungo il fiume Cherio in Comune di Trescore Balneario sono essenzialmente aree di laminazione e aree di espansione golenale, che come effetto principale hanno quello di ridurre la portata di piena che prosegue verso valle.

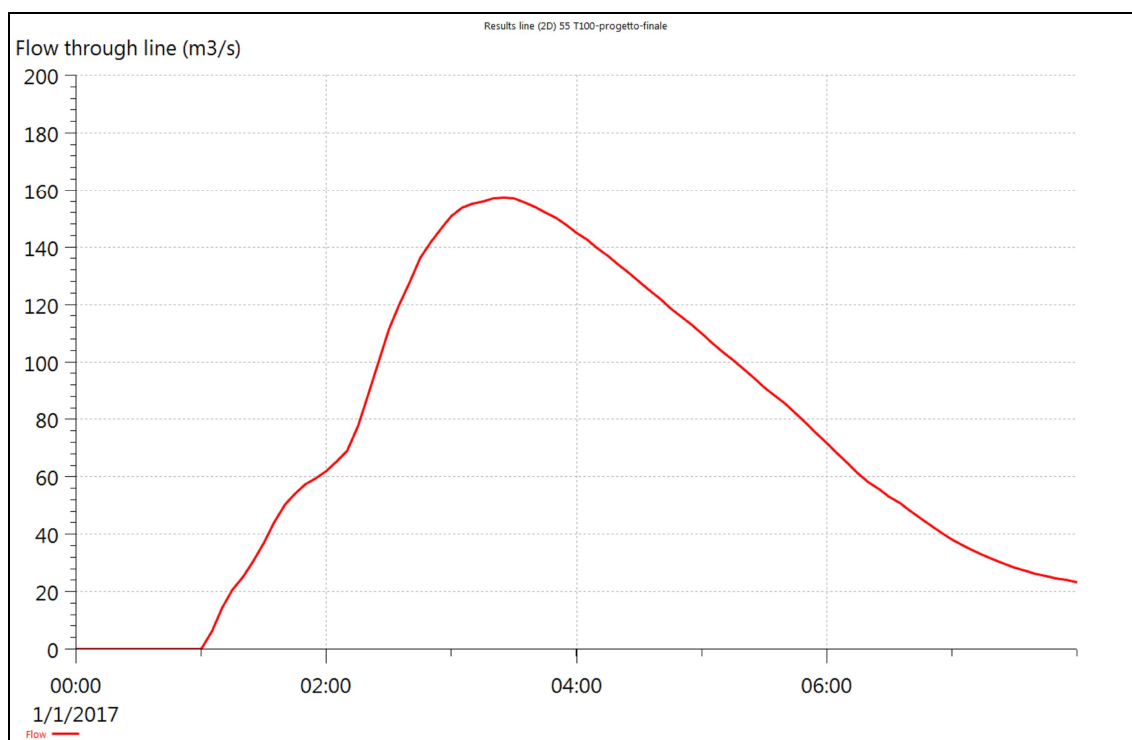
In particolare, considerando l'evento di piena di riferimento assunto per la progettazione, caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni, si ha che le opere in progetto consentono una riduzione della portata al colmo del fiume Cherio, a valle delle confluenze dei torrenti Malmera e Tadone, dal valore dell'assetto attuale pari a circa 210 m<sup>3</sup>/s, a circa 160 m<sup>3</sup>/s, come emerge dagli idrogrammi riportati nelle figure sottostanti.



**Figura 48 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio, a valle della confluenza con il T. Tadone e il T. Malmera, in corrispondenza del ponte di via Montecchi – stato di fatto**



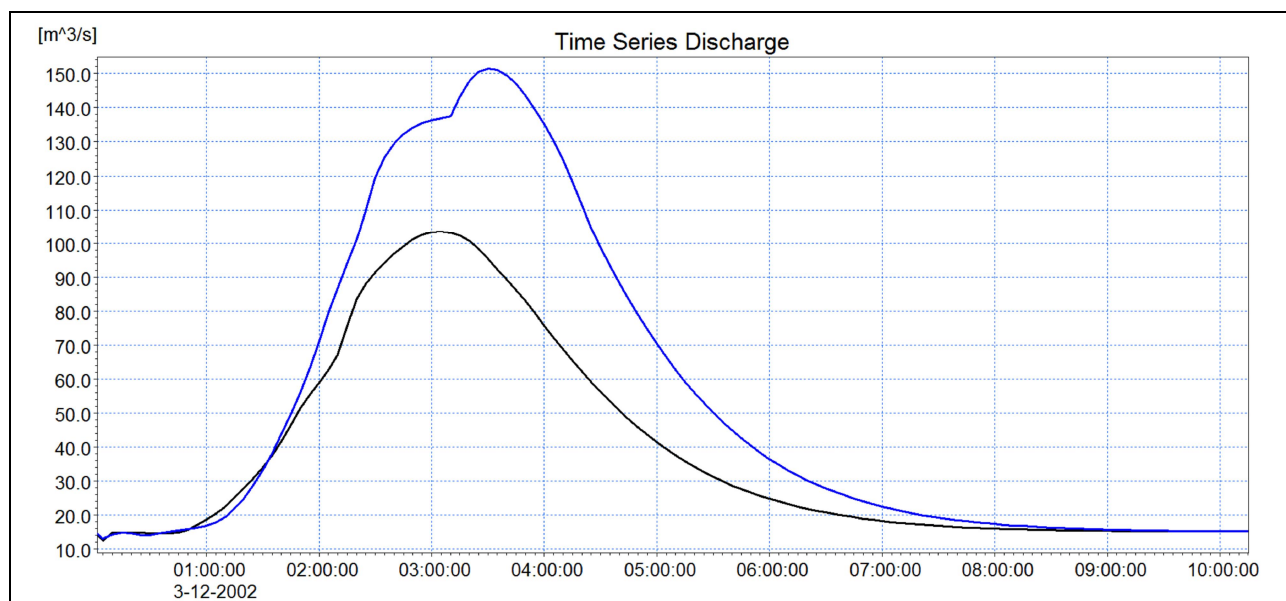
A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 49 – Idrogramma di piena centennale del fiume Cherio, a valle della confluenza con il T. Tadone e il T. Malmera, in corrispondenza del ponte di via Montecchi – assetto di progetto**

Il valore di portata ottenuto in seguito alla realizzazione delle opere è praticamente coincidente con il valore della portata al colmo di un evento decennale nello stato attuale (linea di colore blu in Figura 50).

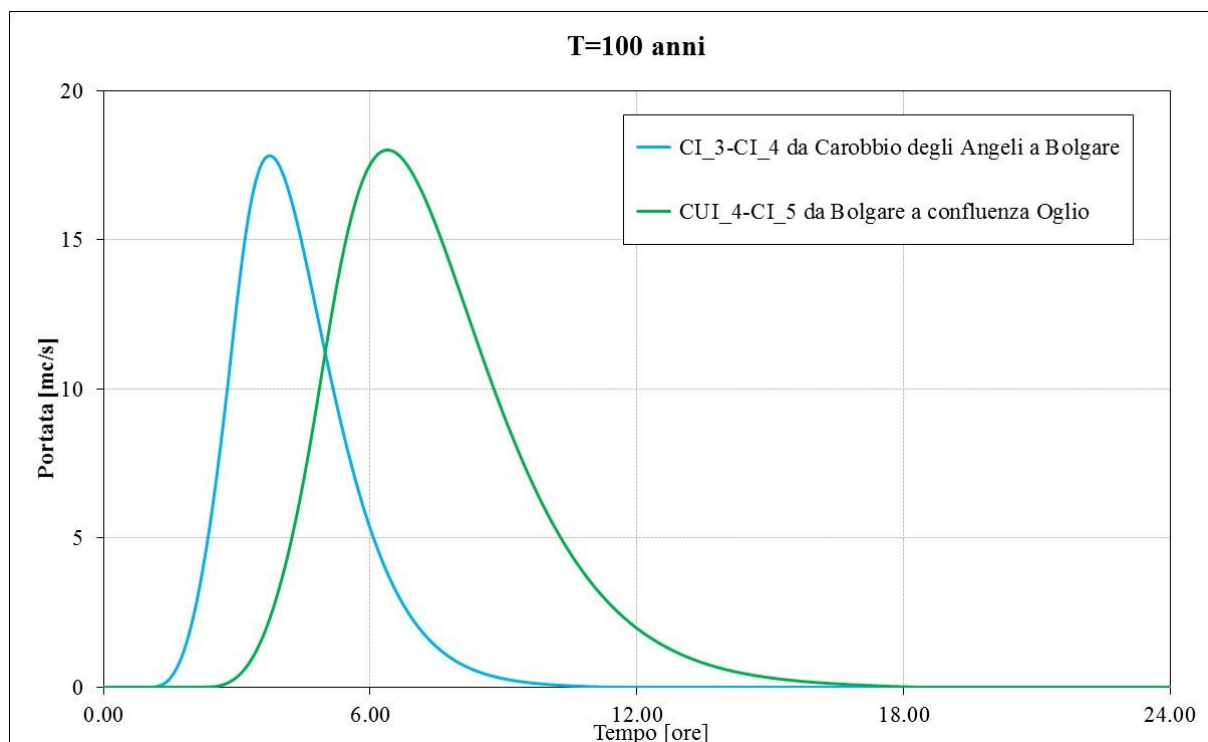
A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>hydros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 50 – Idrogrammi del fiume Cherio nella sezione in ingresso (linea nera) e nella sezioni in uscita (linea blu) al territorio di Trescore Balneario per T=10 anni**

Per valutare l'efficacia delle opere in progetto è stato implementato un modello idraulico del fiume Cherio per l'intero tratto a valle delle aree di laminazione, fino alla confluenza con il fiume Oglio. In particolare è stato utilizzato il modello idrologico-idraulico effettuato nell'ambito dello *Studio-AdBPo*, dalla sezione CI-62 (posta a valle della confluenza dei torrenti Tadone e Malmera) fino alla sezione CI-002 (appena a monte della confluenza del Cherio in Oglio). Nella sezione di monte è stato inserito l'idrogramma di piena centennale derivante dal modello bidimensionale di progetto (Figura 49), mentre a valle sono stati applicati gli idrogrammi di piena centennale dei bacini residui, già determinati nell'ambito dello *Studio-AdBPo* (cfr. Figura 51).

A.T.P.					Consulenti			
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIOLETTI	 <b>ydros</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenze nel vasto campo della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>



**Figura 51 – Idrogrammi di piena dei bacini afferenti al fiume Cherio a valle della confluenza dei torrenti Tadone e Malmera per T=100 anni (fonte Studio-AdBPo)**

Nella Tabella 10 sono riportati i livelli di piena al colmo in corrispondenza delle sezioni inserite nel modello.

In relazione ai livelli di piena è stata tracciata l'area di esondazione lungo tutto il tratto a valle delle opere.

Nella Figura 52 sono riportate le aree di esondazione centennale nello stato attuale e in seguito alla realizzazione degli interventi; per maggiori dettagli si rimanda alla tavola D.4.3 allegata al progetto.

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIAZZETTI	 <b>ldros</b> Ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei settori della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNICHE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

**Tabella 10 – Livelli di piena centennali, a valle delle opere in progetto, in seguito alla realizzazione delle stesse.**

Codice sezione	Progr. (m)	Livelli idrici progetto (Tr=100) m s.m.	Codice sezione	Progr. (m)	Livelli idrici progetto (Tr=100) m s.m.
062	12787.00	239.13	031	19292.00	204.83
26	12899.00	239.13		19302.00	
	12919.00		15	19538.00	202.4
061	13132.00	19564.00			
060	13412.00	234.38	030	19635.00	201.53
059	13506.00	234.22	029	19989.00	198.87
058	13704.00	233.39	028	20227.00	197.37
057	13961.00	231.97	027	20419.00	196.82
056	14035.00	231.58	026	20552.00	196.13
055	14152.00	230.76	13	20721.00	195.14
054	14251.00	229.91		20741.00	
23	14300.00	229.15	025	20760.00	194.92
	14320.00		024	20904.00	194.63
053	14511.00	228.01	12	21028.00	194.38
052	14855.00	225.9		21048.00	
051M	15017.00	225.25	023	21266.00	192.76
	15027.00		022	21487.00	191.75
21	15143.00	225.08	021	21931.00	188.52
	15163.00		020	22050.00	187.57
050	15322.00	223.47	019	22241.00	185.99
049	15440.00	223.07	018	22355.00	185.01
048	15517.00	222.9	017	22484.00	184.08
19	15731.00	222.65	016	22786.00	181.5
	15751.00		015	23095.00	179.15
047P	15761.00	221.15	014	23516.00	176.3
	15781.00		013	23828.00	173.93
046	15795.00	220.81	012	24492.00	169.15
045	15937.00	220.16	011	25098.00	165.5
044	16084.00	219.41	010	25522.00	163.74
043	16252.00	218.59	6	25822.00	163.55
17	16479.00	217.9		25842.00	
	16499.00		009	25859.00	160.88
042	16578.00	217.39	008	26160.00	157.09
041	16777.00	216.51	007	26633.00	154.84
040	16959.00	215.55	006	26894.00	154.04
039	17117.00	214.47	4	27109.00	153.43
038	17384.00	212.99		27129.00	
037	17632.00	211.43	005	27307.00	151.44
16	17837.00	210.46	004	27792.00	149.36
	17857.00		2	28015.00	148.49
036	17997.00	28035.00			
035	18324.00	208.35	003	28109.00	147.71
034	18531.00	207.36	002	28424.00	146.26
033	18773.00	206.44	002bis	28566.00	145.88
032	19046.00	205.66	002ter	28891.78	143.99



<b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	<b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI		 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> CONSULTORIA IN VALORI CAMPI della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>
---	----------------------------------	---	---	--	---	--	---	---



**Figura 52 – Confronto fra l'area di esondazione centennale nello stato di fatto (linea arancione) e in progetto (in azzurro)**

A.T.P.						Consulenti		
 <b>RAFFAELLO CATTANEO</b> architetto e paesaggista	 <b>ETATEC</b> STUDIO PIALETTI	 <b>YDROS</b> ingegneria	 <b>Archeo Studi</b> Bergamo s.r.l.	 <b>HATTUSAS</b> consulenza nei vasti campi della geologia e dell'ambiente	 <b>ECOGEO s.r.l.</b> TECNOLOGIE AMBIENTALI INTEGRATE	<i>Dott. Nat.</i> <i>Giambattista</i> <i>Rivellini</i>	<i>Dott. Arch.</i> <i>Giovanni</i> <i>Mazza</i>	<i>Dott. For.</i> <i>Stefano</i> <i>Enfissi</i>

Trescore Balneario, febbraio 2018

## I PROFESSIONISTI INCARICATI:

RAFFAELLO CATTANEO – Landscape and architecture

Arch. Paes. Raffaello Cattaneo

ETATEC s.r.l.

Dott. Ing. Stefano Croci

YDROS INGEGNERIA

Dott. Ing. Giovanni Pezzucchi

ARCHEO STUDI BERGAMO s.r.l.

Dott.ssa Mariagrazia Vitali

HATTUSAS s.r.l.

Dott. Geol Fabio Massimo Plebani

Dott. Geol. Andrea Gritti

ECOGEO s.r.l.

Dott. Geol. Diego Marsetti