



COMUNE DI CALCIO
PROVINCIA DI BERGAMO

Pag. 1 di 76

PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (PGT)
VARIANTE GENERALE AL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO (PGT)
VALUTAZIONE AMBIENTALE STRATEGICA (VAS)

Studio della valutazione della pericolosità idraulica nelle aree del territorio comunale individuate nelle mappe del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) come allagabili con classe di rischio R4 – rischio molto elevato, in relazione alle possibili esondazioni del fiume Oglio

RELAZIONE

Brescia, 3 aprile 2023

Dott. Ing. Giuseppe Rossi

Via Francesco Baracca, 4/c - Brescia
Ordine Ingegneri Prov. di Brescia n° 1383



SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	AMBITO TERRITORIALE	4
2.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO.....	4
2.2	ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ NELLE MAPPE DEL PGRA	6
2.3	CARATTERISTICHE DELLA RETE IDROGRAFICA	8
2.4	INDIVIDUAZIONE DELLE AREE ALLAGABILI OGGETTO DELLO STUDIO IDRAULICO.....	10
3	ANALISI IDROLOGICA	13
3.1	PROCEDIMENTO.....	13
3.2	TEMPO DI RITORNO.....	13
3.3	DATI IDROLOGICI.....	13
4	STUDIO IDRAULICO	21
4.1	PREMESSA	21
4.2	MODELLO DI CALCOLO.....	21
4.3	SCABREZZE E COEFFICIENTI DI DEFFLUSSO.....	25
4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO. FLUSSI IN INGRESSO	25
4.5	MODELLAZIONE IDRAULICA	28
4.6	RAPPRESENTAZIONE GRAFICA DEI RISULTATI.....	39
5	ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ	40
6	PERICOLOSITÀ NELLE AREE CON CLASSE DI RISCHIO R4 (PGRA)	41
7	SCHEMI GRAFICI PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA TR200	46
7.1	PLANIMETRIA	46
7.2	PROFILO LONGITUDINALE	47
7.3	SEZIONI – ALTEZZE MASSIME DELLA PIENA CON TR200 ANNI.....	50
7.4	CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO DEI COLLEGAMENTI IDRAULICI	60
8	LIMITE DEGLI ALLAGAMENTI PER LE PIENE FREQUENTI (TR 20)	74

TAVOLE GRAFICHE ALLEGATE

T01 – CARTA DELLE AREE ESONDABILI – BATTENTE

T02 – CARTA DELLE AREE ESONDABILI – VELOCITÀ

T03 – CARTA DELLA PERICOLOSITÀ

1 INTRODUZIONE

Lo studio idraulico riguarda le aree del territorio comunale di Calcio interessate dalle possibili esondazione delle piene del f. Oglio, classificate nelle mappe del Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA) a rischio molto elevato (classe di rischio R4), con lo scopo di fornire i dati necessari all'adeguamento della componente geologica del PGT al Piano di gestione del rischio di alluvioni, nell'ambito del procedimento di Variante generale al Piano di Governo del Territorio, come previsto dalla dgr n. X/6738 del 19/06/2017.

Lo studio è redatto a livello di approfondimento locale, con procedimento di calcolo idraulico mediante modellazione del deflusso della piena di progetto, in regime di moto vario combinata: monodimensionale (1D) lungo le aste del fiume Oglio, e bidimensionale (2D) all'interno del territorio allagato.

Sono stati consultati ed utilizzati gli studi idrologici e idraulici, inerenti l'ambito territoriale in oggetto, elencati nel seguito:

- Progetto di Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (AdBPo 1999);
- Perimetrazione delle aree a rischio idraulico ai sensi della L. 267/98 (area 033-LO-BS) (AdBPo 1999);
- 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 (AdBPo 2005);

I predetti studi sono stati utilizzati in particolare per quanto riguarda i rilievi delle sezioni e le caratteristiche dei corsi d'acqua, per il confronto con i rilievi topografici maggiormente recenti e con le risultanze degli accertamenti locali, specialmente per la determinazione delle scabrezze da utilizzare nella modellazione idraulica.

Per la parte idrologica, lo studio acquisisce ed utilizza i dati contenuti nello studio di fattibilità dell'AdBPo, con particolare riferimento agli idrogrammi delle piene, necessari per la modellazione idraulica al moto vario.

Si è inoltre utilizzato, nel modello geometrico di calcolo della modellazione bidimensionale, il rilievo Lidar, acquisito dal comune tramite Regione Lombardia.

2 AMBITO TERRITORIALE

2.1 Inquadramento territoriale e idrografico

Il Fiume Oglio nasce nelle Alpi Orobie, sui versanti meridionale e occidentale del Corno dei Tre Signori, in corrispondenza dello spartiacque fra i bacini dell'Adda, del Noce e dell'Oglio.

Percorre l'incisione valliva della Valcamonica, lungo la quale confluiscono numerose convalli, fino ad immettersi nel lago d'Iseo, fra Lovere e Pisogne, dopo aver percorso circa 73 km.

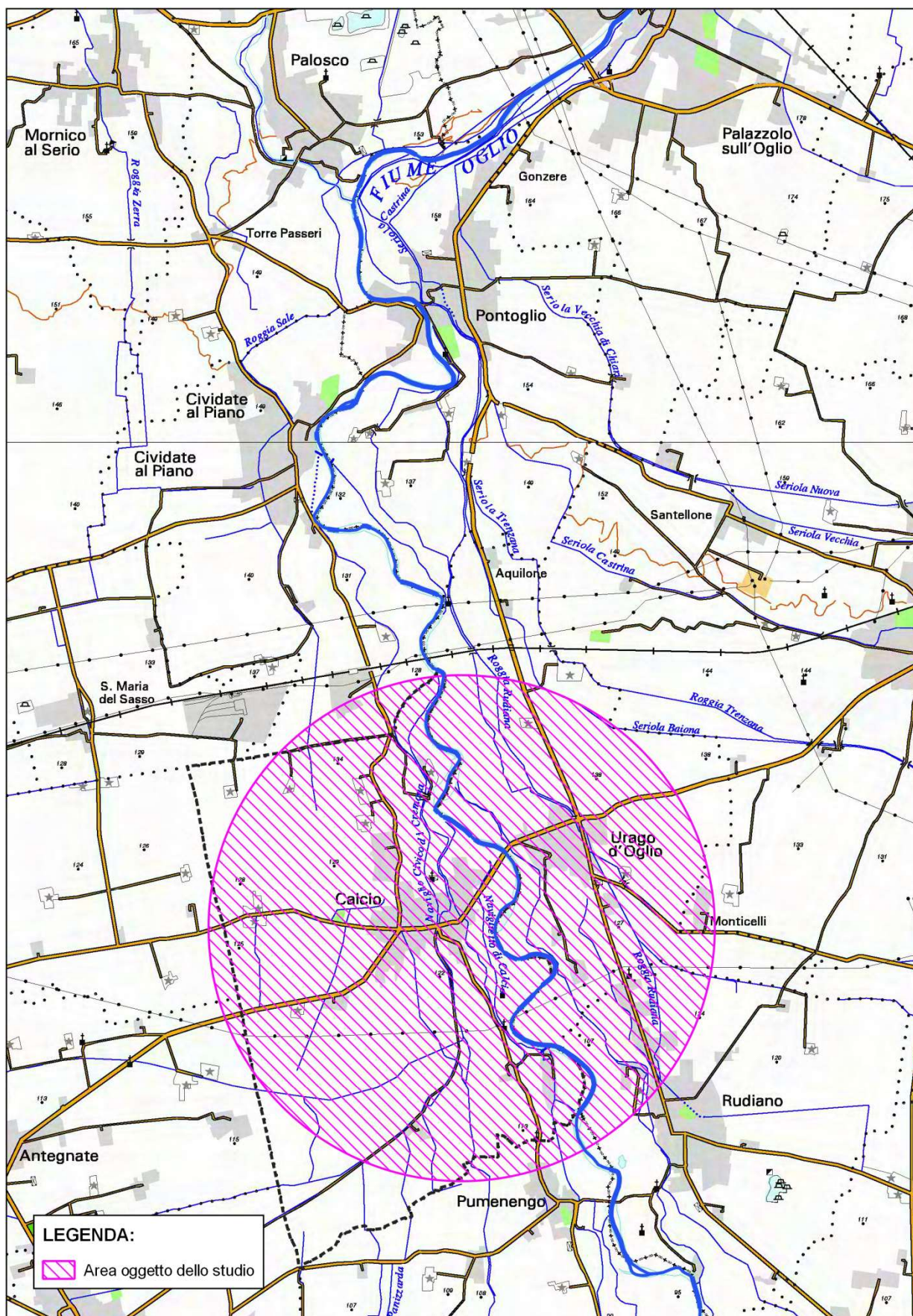
Il corso fluviale sottolacuale inizia dall'uscita dal lago d'Iseo a Sarnico e termina con la foce nel fiume Po, presso Marcaria (MN), dopo un percorso di circa 155 km.

Il tronco fluviale d'interesse per il presente studio è il secondo tronco (OG 02) individuato nello studio dell'AdBPo, relativo al tratto dell'asta fluviale compreso fra la progressiva 19 km, nei dintorni di Pontoglio, e la progressiva 60 km, nei dintorni di Borgo S. Giacomo e Castelvisconti.

Come descritto nel predetto studio, il tronco fluviale è caratterizzato da un andamento tipicamente meandriforme, descrivendo ampie anse lungo tutto il tracciato. In questo tronco le scarpate principali che delimitano la valle divergono e la loro altezza incomincia a diminuire.

La pendenza media è del 2,2 %, ma con pendenze locali fino all' 1,8 %. Il tronco d'alveo non è totalmente arginato e le piene di natura eccezionale interessano le aree d'espansione naturali o le aree golenali presenti lungo il percorso.

Figura n° 2.1.1 - Planimetria d'inquadramento



2.2 Zonazione della pericolosità nelle mappe del PGRA

Questo ambito territoriale comprende la parte della zona edificata a prevalente destinazione residenziale del Comune di Calcio, compresa nella regione fluviale in destra orografica del fiume Oglio, ed è individuato, nelle mappe del PGRA, come ambito interessato dalle possibili esondazione del fiume Oglio, quale corso d'acqua del Reticolo principale (RP).

La delimitazione e la classificazione delle aree allagabili sono contenute nelle mappe della pericolosità del PGRA, per diversi scenari di pericolosità:

- aree P3 (H nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *frequenti*;
- aree P2 (M nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *poco frequenti*;
- aree P1 (L nella cartografia) o aree potenzialmente interessate da alluvioni *rare*;

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è quello corrispondente allo scenario di pericolosità poco frequente (P2), come definito nel PGRA.

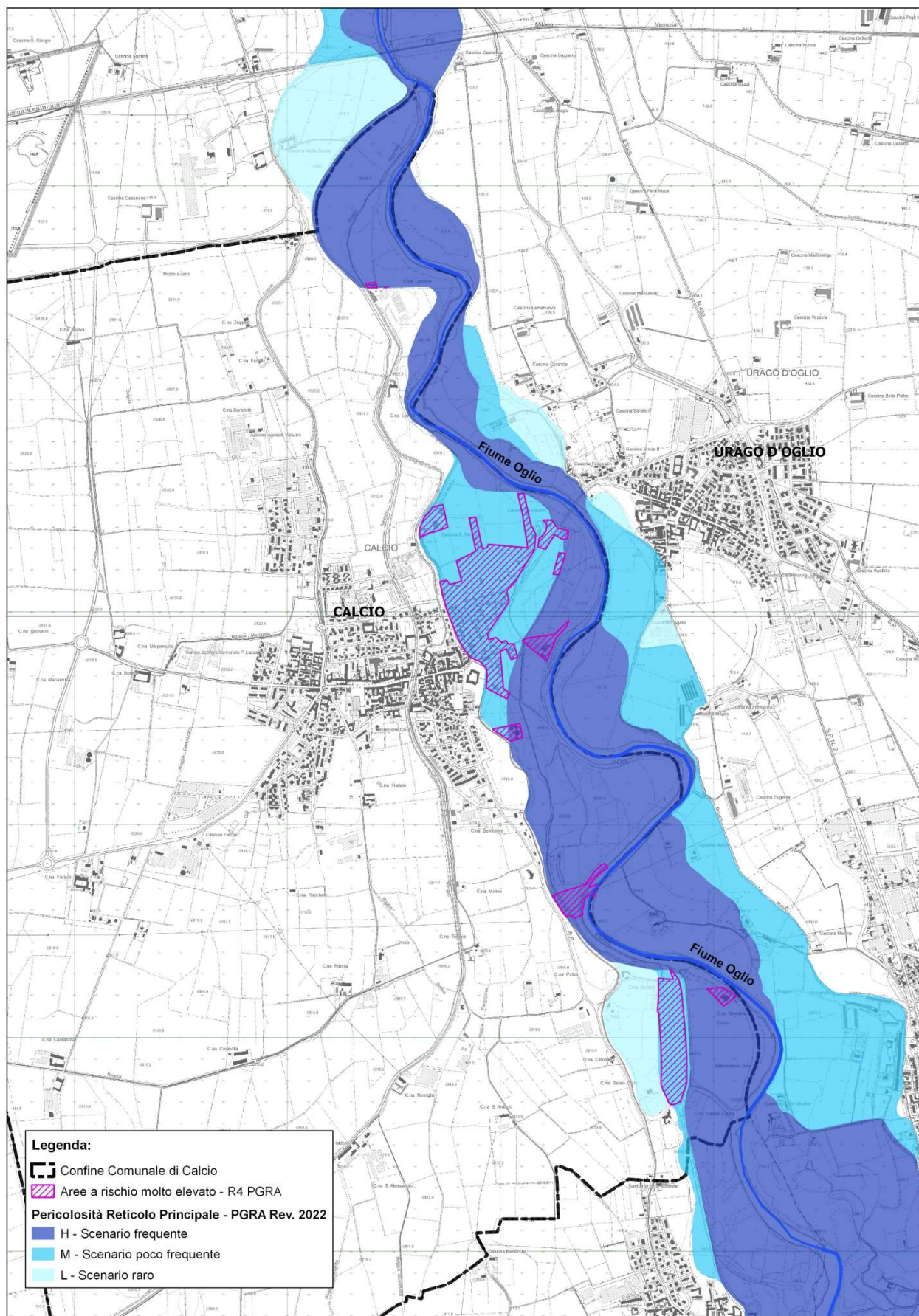
Per il Fiume Oglio, il tempo di ritorno della piena di riferimento è pari a 200 anni.

I tempi di ritorno associati alle frequenze previste dalla Direttiva Alluvioni, sono i seguenti:

- Alluvioni frequenti (P3/H) tempo di ritorno 20 anni;
- Alluvioni poco frequenti (P2/M) tempo di ritorno 200 anni;
- Alluvioni rare (P1/L) tempo di ritorno 500 anni;

Nella seguente figura n. 2.2.1, sono rappresentati gli stralci della mappa della pericolosità del PGRA, per tutti i tre scenari alluvionali previsti nel PGRA, relativi all'area oggetto del presente studio.

Figura n° 2.2.1 – Stralcio carta PGRA



2.3 Caratteristiche della rete idrografica

Il tronco del fiume Oglio, oggetto dello studio idraulico, è quello corrispondente all'attraversamento del territorio comunale di Calcio, nel quadrante a est, al confine con i comuni di Rudiano e Urago d'Oglio, fra la presa della derivazione "Naviglio di Calcio (o Naviglio Civico di Cremona nell'elaborato del RIM comunale)" e la confluenza del canale scaricatore "Naviglio Pallavicini", della lunghezza di circa 7'300 metri.

Questo tronco fluviale è caratterizzato da un andamento tipicamente meandriforme, descrivendo ampie anse lungo tutto il tracciato. Le scarpate principali che delimitano la valle divergono e la loro altezza incomincia a diminuire. La pendenza media è del 2,2 %, ma con pendenze locali fino all'1,8 %. Il tronco d'alveo non è totalmente arginato e le piene di natura eccezionale interessano le aree d'espansione naturali o le aree golenali presenti lungo il percorso.

La prima parte del tratto fluviale in oggetto, dalla derivazione del Naviglio di Calcio al ponte della SS 11 Padana Superiore, della lunghezza di circa 2'695 m, è caratterizzato da un alveo di larghezza costante pari a circa 30 m, con argini di altezza limitata per il contenimento delle piene ordinarie, ed aree d'espansione naturali sia in sponda destra che sinistra. Lungo questo tratto sono presenti anche n.2 briglie trasversali in corrispondenza della derivazione di due canali irrigui la prima in sponda sinistra, Roggia Molina in Comune di Urago d'Oglio e la seconda, Roggia Calciana, in sponda destra nel territorio del Comune di Calcio.

La roggia Calciana ha inizialmente una direzione sud-ovest e successivamente piega verso sud. Poiché la quota della sponda destra è superiore a quella della sponda sinistra, questa roggia svolge di fatto una funzione di delimitazione naturale dell'espansione delle piene del fiume Oglio in territorio comunale di Calcio.

La seconda parte del tratto fluviale in oggetto, dal ponte della SS 11 Padana Superiore al ponte della autostrada A35 BreBeMi, della lunghezza di circa 2'710 m, ha una sezione fluviale che tende ad ampliarsi lungo il percorso, raggiungendo una larghezza massima di 70 m. Le sezioni presentano argini in rilevato sul piano di campagna, lungo entrambe le sponde, di altezza variabile fra 1,00 m e 1,50 m, a protezione delle aree golenali presenti, a destinazione prevalentemente agricola estese fino al rilevato della SS 11 VAR/A Variante di Calcio, oltre la quale inizia il centro edificato del comune di Calcio.

La terza parte del tratto fluviale, dal ponte dell'autostrada A35 BreBeMi fino alla fine del territorio comunale di Calcio, della lunghezza di circa 1'297 m, ha una sezione fluviale che mantiene una larghezza molto ampia variabile tra i 55 e 70 metri con la presenza di una briglia in corrispondenza della derivazione in sponda destra del Naviglio Pallavicini.

Le aree presenti oltre l'argine in sponda destra sono in maggioranza a destinazione agricola con la presenza di un allevamento ittico e della c.na Borellina appena a valle dell'opera di presa del Naviglio Pallavicini.

Figura n° 2.3.1 – Stralcio carta rete idrografica locale



2.4 Individuazione delle aree allagabili oggetto dello studio idraulico

Il territorio di Calcio interessato dalle esondazione del fiume Oglio, è compreso entro una fascia continua, in sponda destra orografica, a partire dalla zona golenale al confine comunale nord con Civate al Piano, fino al confine comunale sud con Pumenengo. Il limite esterno della fascia segue inizialmente l'andamento del naviglio di Calcio e successivamente il corso della roggia Calciana, con ampiezze irregolari, variabili da 15 m a 760 m. Nell'area di maggiore ampiezza si trova una parte del tessuto residenziale del capoluogo.

Nel modello geometrico del calcolo idraulico del presente studio, per la simulazione degli effetti dell'evento di piena di riferimento, con TR 200 anni, si applica l'estensione e l'andamento dell'area di allagamento relativa allo scenario di pericolosità poco frequente (P2/M), rappresentata nelle mappe della pericolosità del PGRA, come riportato nella seguente figura n. 2.4.1.

All'interno della zona di allagamento, si trovano le aree classificate nel PGRA a rischio idraulico molto elevato (classe R4), come rappresentato nella seguente figura n. 2.4.2.

Inoltre, l'utilizzo nel modello geometrico di calcolo del rilievo LiDAR, i cui dati forniscono una dettagliata ed aggiornata configurazione piano altimetrica del suolo, consente di verificare l'effettiva dinamica degli allagamenti all'interno delle aree del modello.

Figura n°2.4.1 - Planimetria di individuazione delle aree allagabili considerate nel modello di calcolo idraulico 2D -

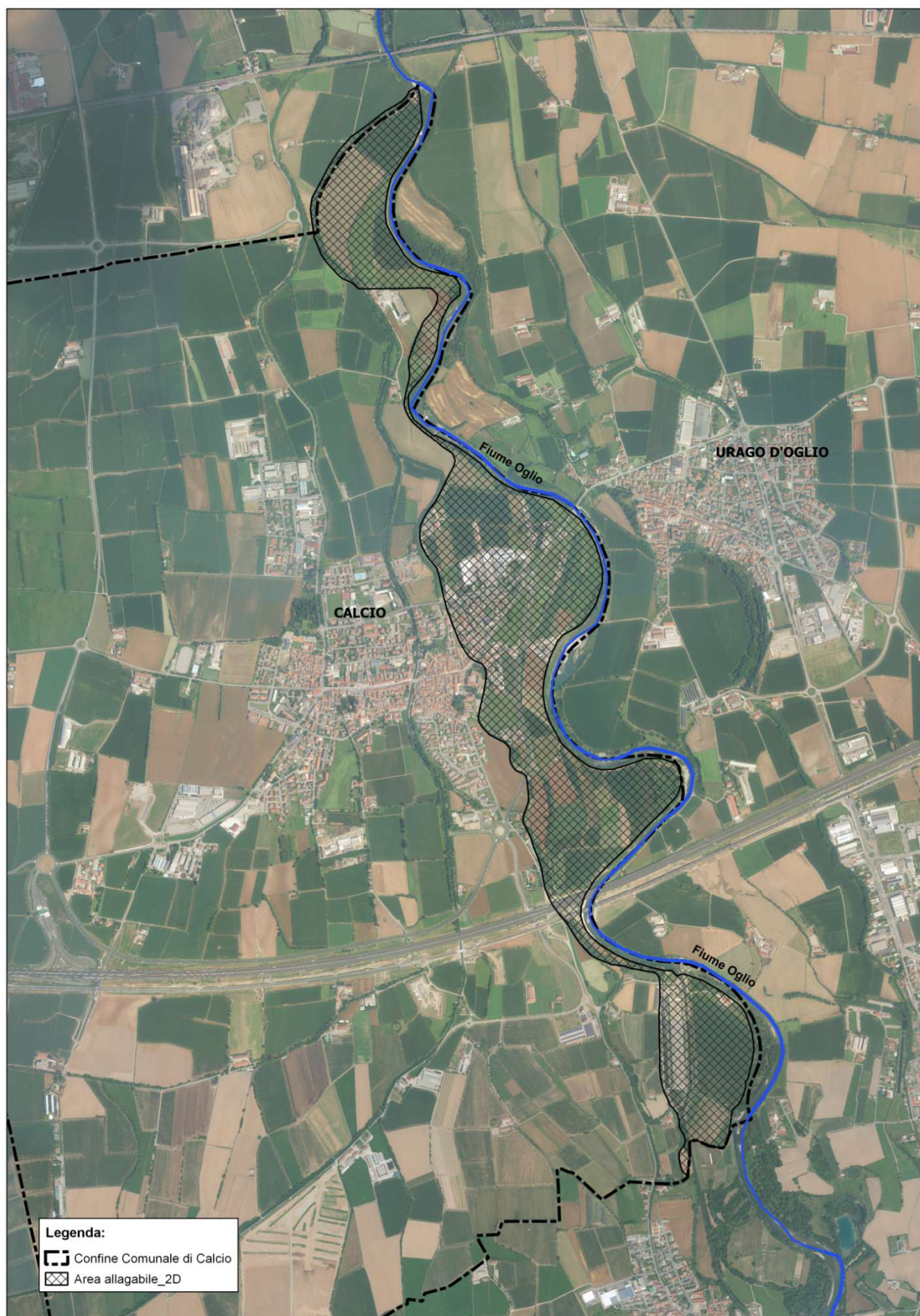
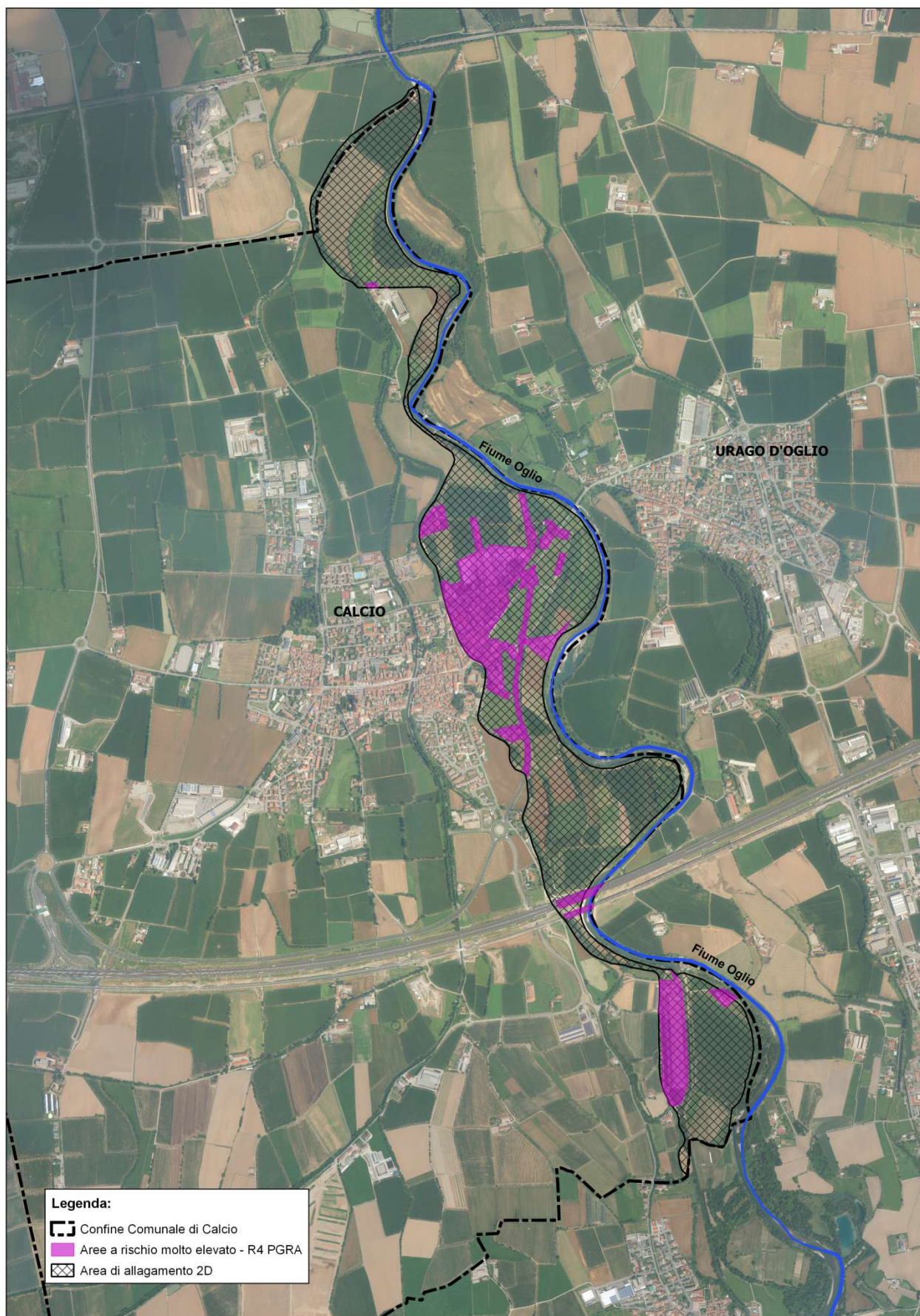


Figura n°2.4.2 - Planimetria di individuazione delle aree oggetto dello studio idraulico –



3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 Procedimento

I dati della piena di riferimento per il calcolo idraulico sono ottenuti dalla documentazione contenuta nello “*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*”, predisposto dall’Autorità di Bacino, come illustrato nel seguito.

3.2 Tempo di ritorno

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è pari a 200 anni, come già stabilito per la delimitazione della Fascia B del PAI e la mappatura delle aree di allagamento per alluvioni poco frequenti (aree P2/M) della Direttiva Alluvioni.

3.3 Dati idrologici

Si fa riferimento allo schema idrologico contenuto nella relazione descrittiva e di analisi dell’attività dello studio di fattibilità dell’AdBPo per il fiume Oglio sottolacuale (elaborato n. 3.1.2.2/2/1R) ed agli idrogrammi dell’elaborato 3.1.2.1/1/1R - 3.2.2.1/1/1R – allegato 3.A “Relazione descrittiva dell’attività di definizione delle portate di piena di riferimento” del medesimo studio, relativi alla sezione “OG 14_CALCIO”, la cui posizione è rappresentata nella seguente figura 3.3.1.

Per la modellazione a moto vario 1D, eseguita al fine di calcolare l’idrogramma delle esondazioni dall’alveo del f. Oglio, il corso fluviale in comune di Calcio è stato diviso in n.3 tronchi come descritti nel paragrafo 2.3 e come indicato nella figura n. 3.3.2.

Come condizione al contorno del tratto di monte (dalla sez. 139.01 presa del Naviglio Civico di Cremona alla sez. 136.01 ponte SS 11 Padana Superiore), in corrispondenza della sezione iniziale del modello di calcolo, si applica l’idrogramma TR 200 della sez. OG_14 Calcio, con opportune interpolazioni per ottenere una serie di dati ad intervalli regolari di un’ora e con portata al colmo coincidente con la portata massima transitata alla predetta sezione secondo lo studio di fattibilità dell’AdBPo.

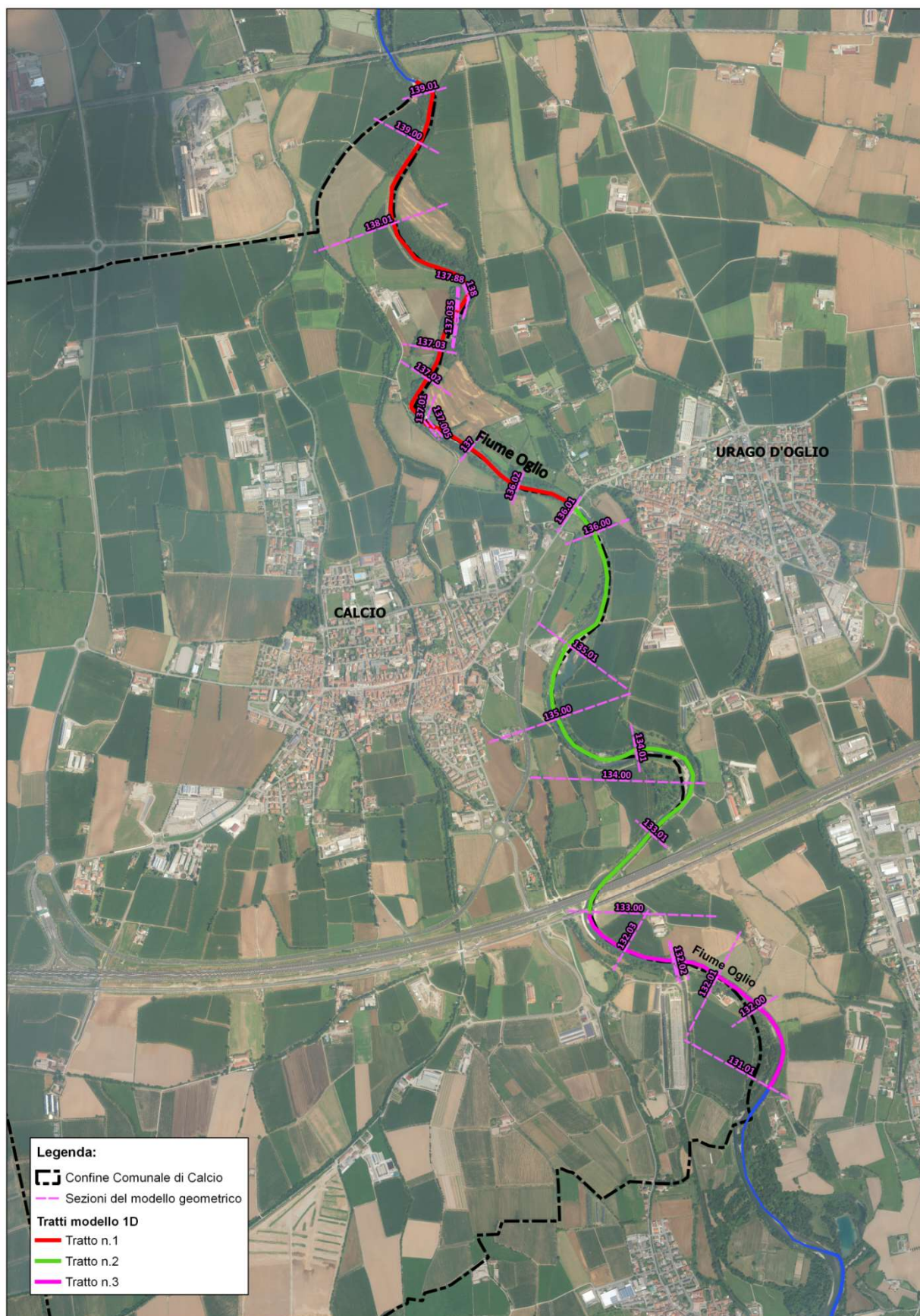
Medesimo riferimento e procedimento si applica per il calcolo dell’idrogramma del tratto mediano dal ponte SS 11 Padana Superiore (sez.136.01) al ponte dell’autostrada A35 BreBeMi (sez. 133.00)-

Come condizione al contorno per il tratto finale dal ponte dell'autostrada A35 BreBeMi (sez. 133.00) al confine comunale con Pumenengo (sez. 131.01), si applica l'idrogramma TR200 risultante alla sezione 133.00 dalla modellazione in moto vario del tratto mediano.

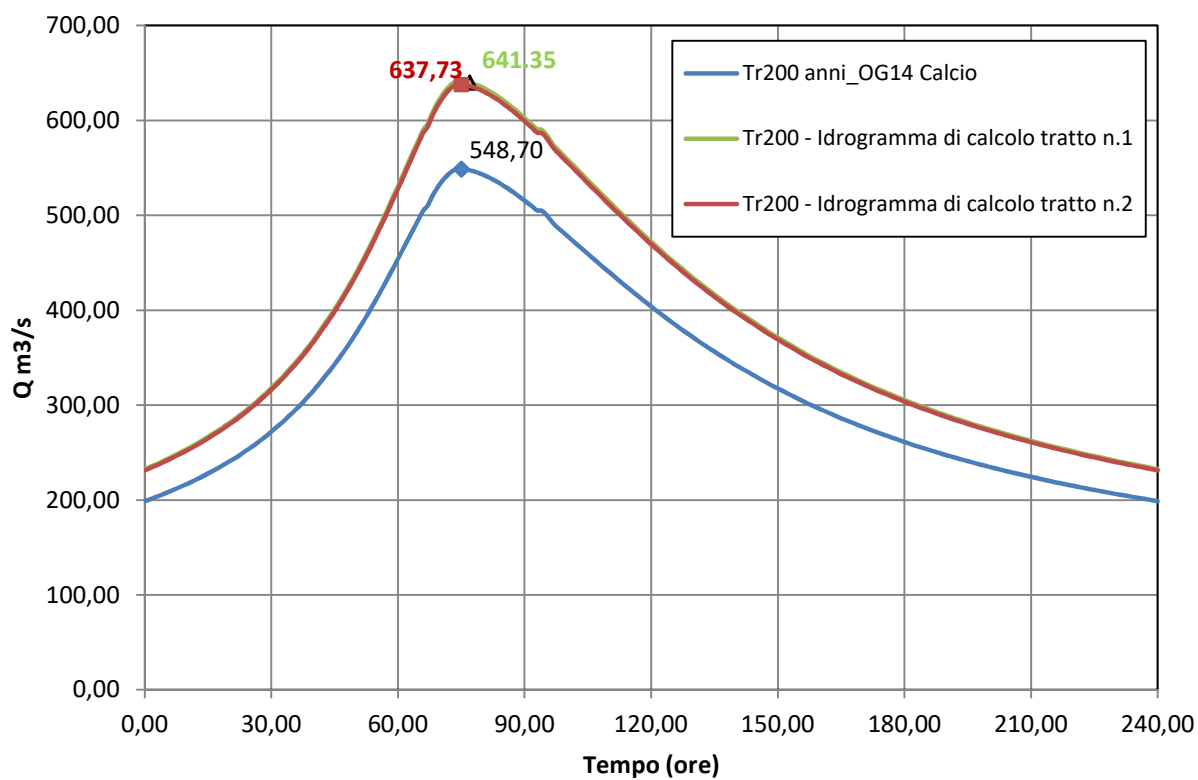
Figura 3.3.1 – Posizione della sezione di calcolo dell'idrogramma di piena (OG14 Calcio- studio AdBPO)



figura n°3.3.2 - Planimetria dei tratti del modello geometrico di calcolo 1D



Idrogrammi di piena F. Oglio _condizioni al contorno dei tratti n.1 e n.2

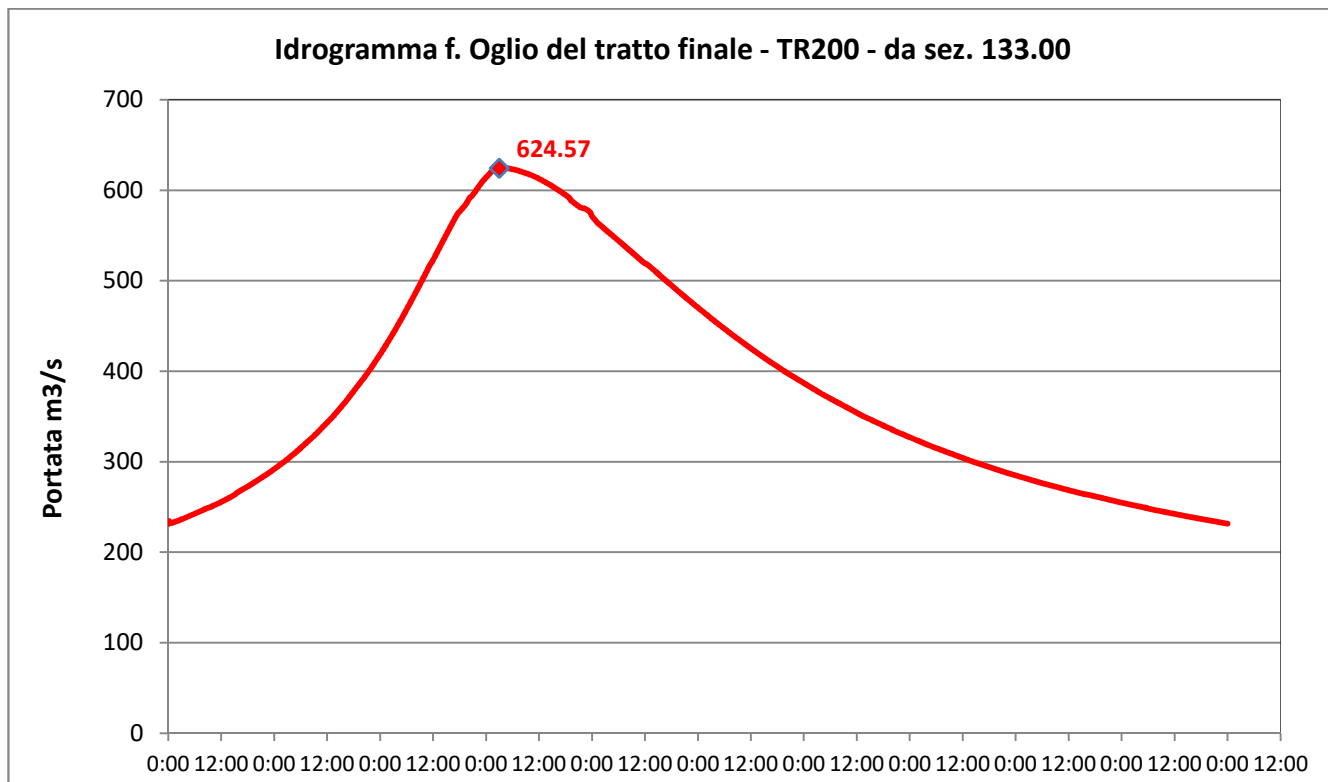


1) Idrogramma tabellare di piena del f. Oglio per TR200 - condizioni a contorno dei tratti n. 1 e n.2

t [ore]	Tr200 anni_OG14 Calcio (m ³ /s)	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.1	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.2	t [ore]	Tr200 anni_OG14 Calcio (m ³ /s)	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.1	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.2
0,00	199,00	232,60	231,29	50,00	375,38	438,77	436,29
1,00	200,62	234,50	233,17	51,00	382,54	447,14	444,61
2,00	202,24	236,39	235,05	52,00	389,71	455,51	452,94
3,00	203,86	238,28	236,94	53,00	397,23	464,30	461,68
4,00	205,69	240,43	239,07	54,00	405,01	473,40	470,72
5,00	207,53	242,57	241,20	55,00	412,79	482,49	479,77
6,00	209,36	244,72	243,34	56,00	420,85	491,91	489,13
7,00	211,20	246,86	245,47	57,00	428,91	501,33	498,50
8,00	213,17	249,17	247,76	58,00	437,25	511,09	508,20
9,00	215,15	251,48	250,06	59,00	445,60	520,85	517,90
10,00	217,12	253,78	252,35	60,00	454,12	530,80	527,80
11,00	219,09	256,09	254,65	61,00	462,69	540,83	537,77
12,00	221,29	258,66	257,20	62,00	471,29	550,88	547,77
13,00	223,49	261,23	259,75	63,00	479,90	560,94	557,77
14,00	225,75	263,87	262,38	64,00	488,42	570,89	567,67
15,00	228,14	266,66	265,15	65,00	496,82	580,72	577,44
16,00	230,52	269,45	267,93	66,00	505,00	590,28	586,94
17,00	232,91	272,24	270,70	67,00	510,07	596,21	592,84
18,00	235,29	275,02	273,47	68,00	519,04	606,69	603,27
19,00	237,96	278,14	276,57	69,00	526,71	615,65	612,17
20,00	240,63	281,27	279,68	70,00	533,27	623,32	619,80
21,00	243,30	284,39	282,78	71,00	538,87	629,87	626,31
22,00	245,97	287,51	285,89	72,00	543,34	635,09	631,51
23,00	249,01	291,06	289,41	73,00	546,86	639,21	635,60
24,00	252,05	294,61	292,94	74,00	548,61	641,25	637,62
25,00	255,08	298,16	296,47	75,00	548,70	641,35	637,73
26,00	258,12	301,70	300,00	76,00	548,21	640,78	637,16
27,00	261,53	305,69	303,97	77,00	547,40	639,84	636,22
28,00	264,94	309,68	307,93	78,00	546,20	638,44	634,83
29,00	268,37	313,69	311,92	79,00	544,61	636,58	632,98
30,00	272,16	318,12	316,33	80,00	543,02	634,71	631,13
31,00	275,96	322,56	320,73	81,00	540,93	632,28	628,70
32,00	279,75	326,99	325,14	82,00	538,85	629,84	626,28
33,00	283,54	331,42	329,55	83,00	536,40	626,98	623,44
34,00	287,84	336,44	334,54	84,00	533,95	624,12	620,59
35,00	292,13	341,46	339,53	85,00	531,13	620,82	617,32
36,00	296,42	346,48	344,52	86,00	528,32	617,53	614,04
37,00	300,72	351,50	349,51	87,00	525,23	613,92	610,46
38,00	305,64	357,25	355,23	88,00	522,15	610,32	606,87
39,00	310,55	363,00	360,95	89,00	518,82	606,43	603,00
40,00	315,47	368,74	366,66	90,00	515,49	602,53	599,13
41,00	320,94	375,13	373,01	91,00	511,99	598,45	595,07
42,00	326,40	381,51	379,36	92,00	508,49	594,36	591,00
43,00	331,86	387,90	385,71	93,00	505,00	590,28	586,94
44,00	337,32	394,28	392,06	94,00	504,88	590,13	586,80
45,00	343,25	401,21	398,94	95,00	501,26	585,91	582,60
46,00	349,17	408,13	405,83	96,00	495,81	579,53	576,26
47,00	355,52	415,55	413,20	97,00	490,36	573,16	569,92
48,00	361,86	422,97	420,58	98,00	486,44	568,58	565,37
49,00	368,62	430,87	428,43	99,00	482,52	564,00	560,82

t [ore]	Tr200 anni_OG14 Calcio (m ³ /s)	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.1	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.2	t [ore]	Tr200 anni_OG14 Calcio (m ³ /s)	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.1	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.2
100,00	478,65	559,48	556,32	150,00	317,67	371,32	369,22
101,00	474,78	554,96	551,82	151,00	315,42	368,68	366,60
102,00	470,92	550,44	547,33	152,00	313,17	366,05	363,98
103,00	467,05	545,92	542,84	153,00	310,92	363,42	361,37
104,00	463,19	541,41	538,35	154,00	308,67	360,79	358,75
105,00	459,33	536,89	533,86	155,00	306,41	358,16	356,13
106,00	455,46	532,37	529,37	156,00	304,16	355,52	353,52
107,00	451,60	527,86	524,88	157,00	301,86	352,84	350,85
108,00	447,80	523,42	520,46	158,00	299,91	350,55	348,57
109,00	444,00	518,98	516,04	159,00	297,95	348,26	346,30
110,00	440,20	514,53	511,63	160,00	295,99	345,98	344,02
111,00	436,40	510,09	507,21	161,00	294,04	343,69	341,75
112,00	432,71	505,78	502,93	162,00	292,08	341,40	339,47
113,00	429,03	501,47	498,64	163,00	290,12	339,11	337,20
114,00	425,34	497,16	494,35	164,00	288,16	336,83	334,92
115,00	421,65	492,85	490,07	165,00	286,21	334,54	332,65
116,00	418,08	488,68	485,92	166,00	284,46	332,49	330,61
117,00	414,51	484,50	481,77	167,00	282,71	330,45	328,58
118,00	410,94	480,33	477,62	168,00	280,96	328,40	326,55
119,00	407,36	476,15	473,46	169,00	279,21	326,35	324,51
120,00	403,95	472,16	469,49	170,00	277,46	324,31	322,48
121,00	400,53	468,17	465,53	171,00	275,71	322,26	320,44
122,00	397,12	464,18	461,56	172,00	273,96	320,22	318,41
123,00	393,70	460,18	457,59	173,00	272,21	318,17	316,37
124,00	390,29	456,19	453,62	174,00	270,65	316,36	314,57
125,00	387,05	452,41	449,85	175,00	269,10	314,54	312,77
126,00	383,81	448,62	446,09	176,00	267,55	312,73	310,96
127,00	380,57	444,84	442,32	177,00	266,00	310,92	309,16
128,00	377,33	441,05	438,56	178,00	264,45	309,10	307,36
129,00	374,26	437,46	434,99	179,00	262,90	307,29	305,56
130,00	371,18	433,86	431,41	180,00	261,35	305,48	303,75
131,00	368,11	430,27	427,84	181,00	259,79	303,66	301,95
132,00	365,03	426,68	424,27	182,00	258,24	301,85	300,14
133,00	362,12	423,27	420,88	183,00	256,86	300,24	298,54
134,00	359,21	419,87	417,50	184,00	255,49	298,63	296,94
135,00	356,30	416,47	414,12	185,00	254,11	297,02	295,34
136,00	353,39	413,06	410,73	186,00	252,73	295,41	293,74
137,00	350,64	409,85	407,54	187,00	251,36	293,80	292,14
138,00	347,89	406,64	404,35	188,00	249,98	292,19	290,54
139,00	345,15	403,43	401,15	189,00	248,60	290,58	288,94
140,00	342,40	400,22	397,96	190,00	247,23	288,97	287,34
141,00	339,87	397,26	395,02	191,00	246,00	287,54	285,92
142,00	337,34	394,31	392,08	192,00	244,78	286,11	284,49
143,00	334,82	391,35	389,14	193,00	243,55	284,68	283,07
144,00	332,29	388,40	386,21	194,00	242,32	283,24	281,65
145,00	329,76	385,44	383,27	195,00	241,10	281,81	280,22
146,00	327,23	382,49	380,33	196,00	239,87	280,38	278,80
147,00	324,70	379,53	377,39	197,00	238,65	278,95	277,37
148,00	322,18	376,58	374,45	198,00	237,42	277,52	275,95
149,00	319,92	373,95	371,84	199,00	236,32	276,22	274,66

t [ore]	Tr200 anni_OG14 Calcio (m ³ /s)	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.1	Tr200 - Idrogramma di calcolo tratto n.2
200,00	235,21	274,93	273,38
201,00	234,10	273,63	272,09
202,00	233,00	272,34	270,80
203,00	231,89	271,05	269,51
204,00	230,78	269,75	268,23
205,00	229,67	268,46	266,94
206,00	228,57	267,16	265,65
207,00	227,57	265,99	264,49
208,00	226,56	264,82	263,33
209,00	225,56	263,65	262,16
210,00	224,56	262,48	261,00
211,00	223,56	261,31	259,84
212,00	222,56	260,14	258,67
213,00	221,56	258,97	257,51
214,00	220,56	257,80	256,34
215,00	219,55	256,63	255,18
216,00	218,66	255,58	254,14
217,00	217,76	254,54	253,10
218,00	216,87	253,49	252,06
219,00	215,97	252,44	251,02
220,00	215,08	251,40	249,98
221,00	214,18	250,35	248,94
222,00	213,29	249,30	247,89
223,00	212,39	248,26	246,85
224,00	211,57	247,29	245,90
225,00	210,74	246,33	244,94
226,00	209,92	245,36	243,98
227,00	209,09	244,40	243,02
228,00	208,27	243,44	242,06
229,00	207,44	242,47	241,10
230,00	206,62	241,51	240,14
231,00	205,79	240,54	239,18
232,00	205,04	239,66	238,31
233,00	204,28	238,78	237,43
234,00	203,53	237,90	236,55
235,00	202,77	237,01	235,68
236,00	202,02	236,13	234,80
237,00	201,26	235,25	233,92
238,00	200,51	234,37	233,04
239,00	199,75	233,49	232,17
240,00	199,00	232,60	231,29



4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Premessa

Lo studio è condotto conformemente alle metodologie definite nell'Allegato 4 alla DGR 30 novembre 2011, n. IX/2616 e nella direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico, approvate dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po con deliberazione n. 2/99 del 11 maggio 1999 e n. 10/06 del 5 aprile 2006.

La valutazione delle condizioni di pericolosità e rischio locali, all'interno delle aree allagabili, è basata sui risultati della modellazione idraulica bidimensionale del deflusso delle acque esondate dal fiume Oglio, durante il transito della piena di riferimento.

La modellazione idraulica è stata eseguita mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC-RAS versione 5.0.7 e dei più recenti rilievi topografici ad alta precisione, ottenuti con tecnologia Laser Scanning LiDAR- Light Detection And Ranging, resi disponibili dal MATTM tramite Regione Lombardia.

4.2 Modello di calcolo

Il modello geometrico implementato nel programma di calcolo HEC-RAS ver. 5.0.7 è composto come segue:

Geometria del corso d'acqua

- Fiume Oglio (n. 3 tratti):
 - Tratto n.1 (da derivazione Naviglio civico di Cremona a ponte SS 11 Padana Superiore)
 - lunghezza 2695,00 m, da inizio modellazione (sezione n.139.01), fino al ponte della SS 11 Padana Superiore (sezione n. 136.01);
 - sezioni del modello: n. 14;
 - Inline structure: n.3 briglie; n.1 da sezione n. 138.00 a sezione 137.88, n.2 da sezione 137.04 a sezione 137.035, n.3 da sezione 137.01 a sezione 137.005.
 - Tratto n.2 (da ponte SS 11 Padana Superiore a ponte autostrada A35 BreBeMi)
 - lunghezza 2710,00 m, da inizio modellazione (sezione n.136.01), fino al ponte ponte autostrada A35 BreBeMi (sezione n. 133.00);
 - sezioni del modello: n. 8;
 - Tratto n.3 (da ponte autostrada A35 BreBeMi al confine sud del territorio comunale)
 - lunghezza 1297,00 m, da inizio modellazione (sezione n.133.00), fino allo scaricatore Naviglio Pallavicini (sezione n. 131.01);
 - sezioni del modello: n. 8;

Aree di allagamento e collegamenti idraulici

Le aree allagabili considerate nel calcolo idraulico sono quelle relative allo scenario di pericolosità poco frequente (P2/M) per la piena di riferimento con TR 200anni, come risultanti dalle mappe del PGRA, delimitate come descritto nel precedente paragrafo 2.4.

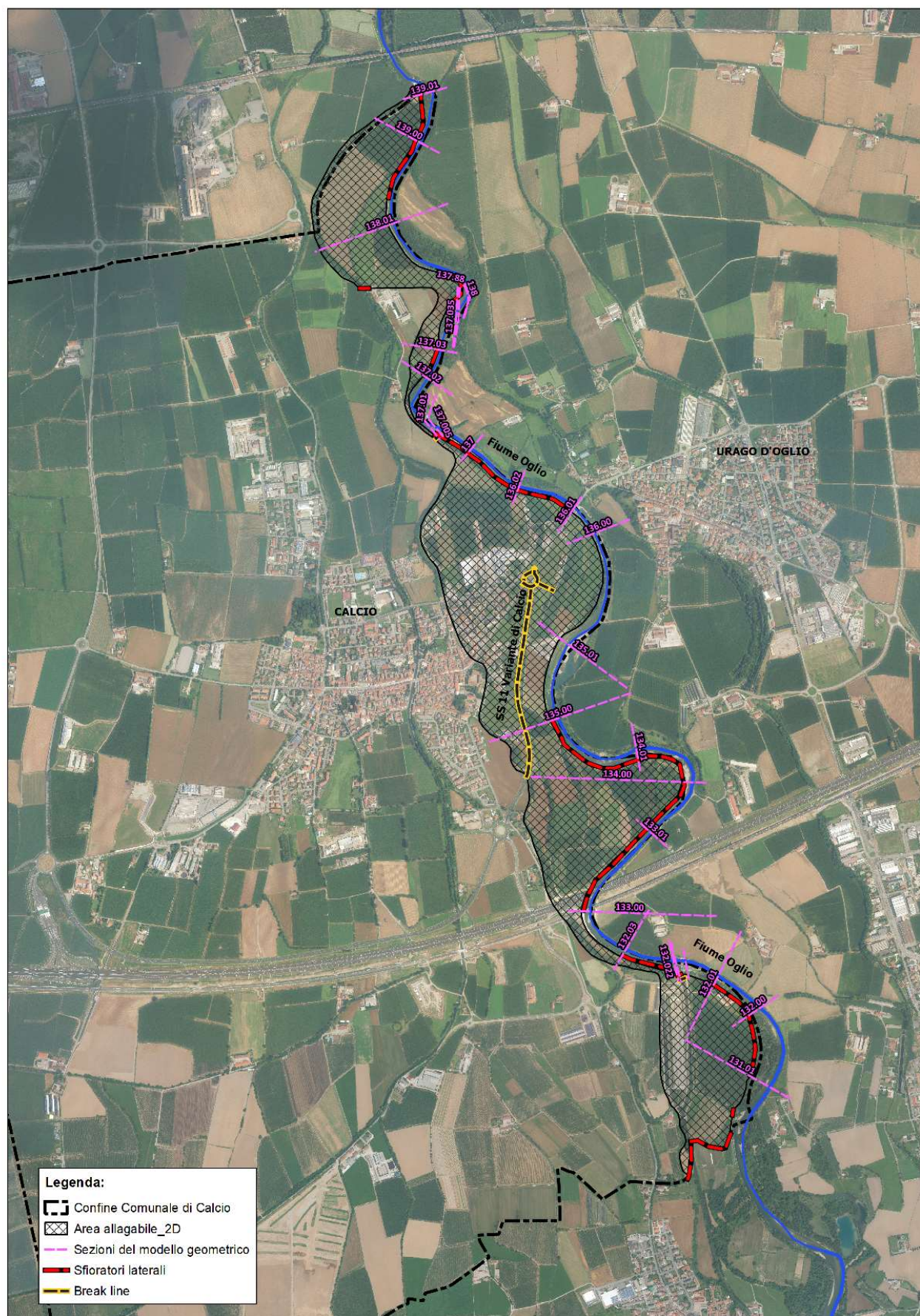
Nel corso dello studio della modellazione idraulica bidimensionale, non è stato necessario ampliare ulteriormente le aree di allagamento.

Area n. 01

- Posizione: a lato della sponda destra del fiume Oglio da inizio modellazione fino alla fine della modellazione presso lo scaricatore Naviglio Pallavicini.
- Superficie: 1'687'404 m², area di allagamento TR200 del PGRA in sponda destra del fiume Oglio.
- Uso del suolo: area prevalentemente edificata.
- Rilievo: copertura LIDAR.
- Griglia di calcolo: 5x5 m.
- Collegamenti idraulici fra area di allagamento e corso d'acqua (laterl structure):
 - n.8 sfioratori laterali lungo la sponda destra del f. Oglio;
 - Sfiatore n.1 – 139.009 da inizio modellazione sez. 139.01 fino a monte della sez. 138.01 (L = 564,91 m);
 - Sfiatore n.2 – 138.005 da sez. 137.03 a sez. 137.02 (L = 131,33 m);
 - Sfiatore n.3 – 137.018 da derivazione 137.01 a sez. 137 (L = 188,08 m)
 - Sfiatore n.4 – 136.98 da sez 137 al Ponte SS 11 Padana Superiore sez. 136.01 (L = 558,63 m)
 - Sfiatore n.5 – 134.50 da sez. 135 a sez. 133 (L = 1'587,63 m)
 - Sfiatore n.6 – 132.025 da sez. 132.03 a derivazione Naviglio Pallavicinisez. 132.022 (L = 208,60 m)
 - Sfiatore n.7 – 132.021 derivazione Naviglio Pallavinici (L = 16,63 m)
 - Sfiatore n.8 – 132.009 da sez. 132.01 a sez. 131.01 (L = 508,09 m)
 - n.2 sfioratori laterali di rientro dell'esonazione nell'alveo del f. Oglio lungo la sponda destra;
 - Sfiatore di rientro della piena n.1 tra sezione 138.00 e sez. 137.03 (L = 178,94 m)
 - Sfiatore di rientro della piena n.2 presso lo scaricatore Naviglio Pallavicini tra sezione 131.01 e sez. 131 (L = 26,86 m)
- Break line all'interno dell'area di allagamento (Break line):
 - Sono state inserite n.2 break line presso la derivazione Roggia del Molino e Naviglio Pallavicini per simulare la chiusura della paratoia di presa in caso di piena del f. Oglio.
 - Una Break line è stata inserita all'interno dell'area di allagamento per simulare il rilevato della strada variante della SS 11 VAR/A Variante di Calcio non presente nel rilievo Lidar.

- Condizioni al contorno (SA/2D Boundary condition):
 - Lungo il limite dell'area di allagamento presso la c.na Lamone sono state inserite n.2 break line, aventi il compito di permettere l'uscita dal sistema delle acque presenti nella roggia Antegnata e nel Naviglio Civico di Cremona, evitando che si accumulino sul bordo di tale area.
Con lo stesso scopo è stata inserita una break line lungo il limite a sud dell'area di allagamento.

figura n°4.2.1 - Planimetria del modello geometrico di calcolo



4.3 Scabrezze e coefficienti di deflusso

I coefficienti di scabrezza di Manning (n) sono scelti a seguito di accurate ricognizioni dei luoghi e quantificati secondo il metodo contenuto nella Direttiva “*Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B*” del Piano Stralcio nelle Fasce Fluviali dell’Autorità di Bacino del Fiume Po, con la seguente relazione:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m_5$$

in cui i vari coefficienti parziali, variano in funzione dei seguenti aspetti:

- Materiali costituenti l’alveo (n_0)
- Irregolarità della superficie della sezione (n_1)
- Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale (n_2)
- Effetto relativo di ostruzioni (n_3)
- Effetto della vegetazione (n_4)
- Grado di sinuosità dell’alveo (m_5)

I valori dei coefficienti utilizzati nel calcolo, per le diverse situazioni riscontrate, sono evidenziati negli schemi grafici dei risultati della modellazione allegati nel successivo paragrafo 7.3.

I coefficienti di efflusso utilizzati nel calcolo idraulico degli sfioratori laterali e degli altri collegamenti fra gli elementi del modello, sono riportati negli schemi grafici allegati nel successivo paragrafo 7.4.

4.4 Condizioni al contorno. Flussi in ingresso

I flussi (flow) delle portate d’acqua in ingresso al sistema idrografico del f. Oglio schematizzato nel modello di calcolo idraulico per la simulazione del deflusso della piena di progetto in regime di moto vario (unsteady flow analysis), sono specificati ed applicati come segue:

- Tratto n.1 da sez. iniziale 139.01 a sez. 136.01:
 - Idrogramma TR200 in corrispondenza della sezione iniziale del modello di calcolo 139.01, relativo alla sezione OG_14 Calcio dello studio di approfondimento dell’AdBPo, determinato come descritto nel precedente paragrafo 3.3.
 - Idrogramma in ingresso puntuale alla sezione 137.01 che simula il rientro di una parte delle acque di piena esondate a monte della predetta sezione.

Figura 4.4.1 – Idrogramma della piena con Tr200 anni sez. 139.01 – f. Oglio

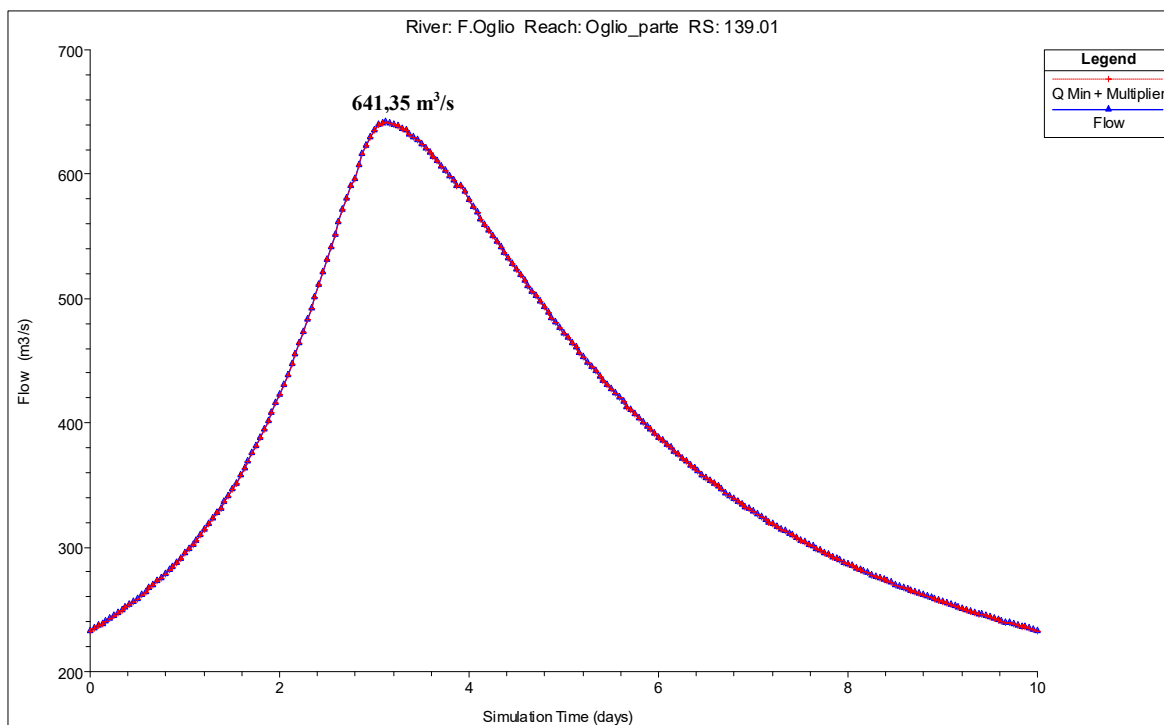
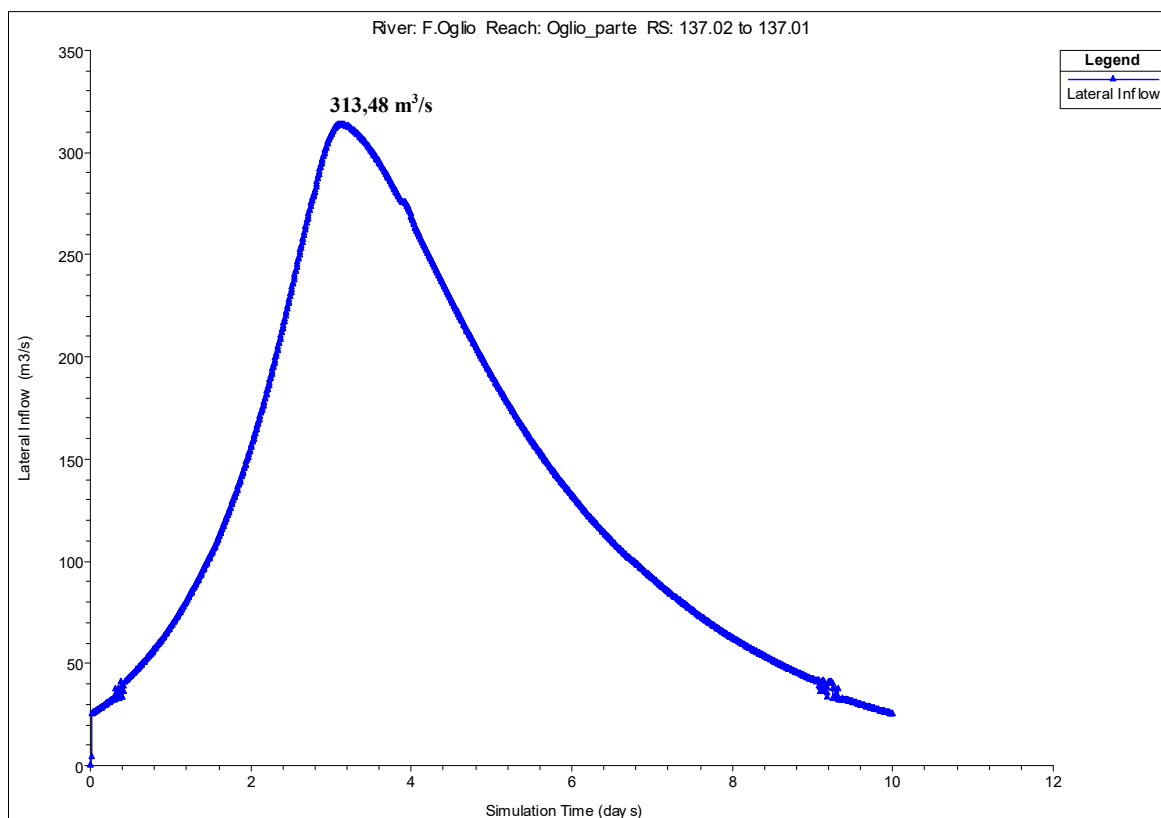
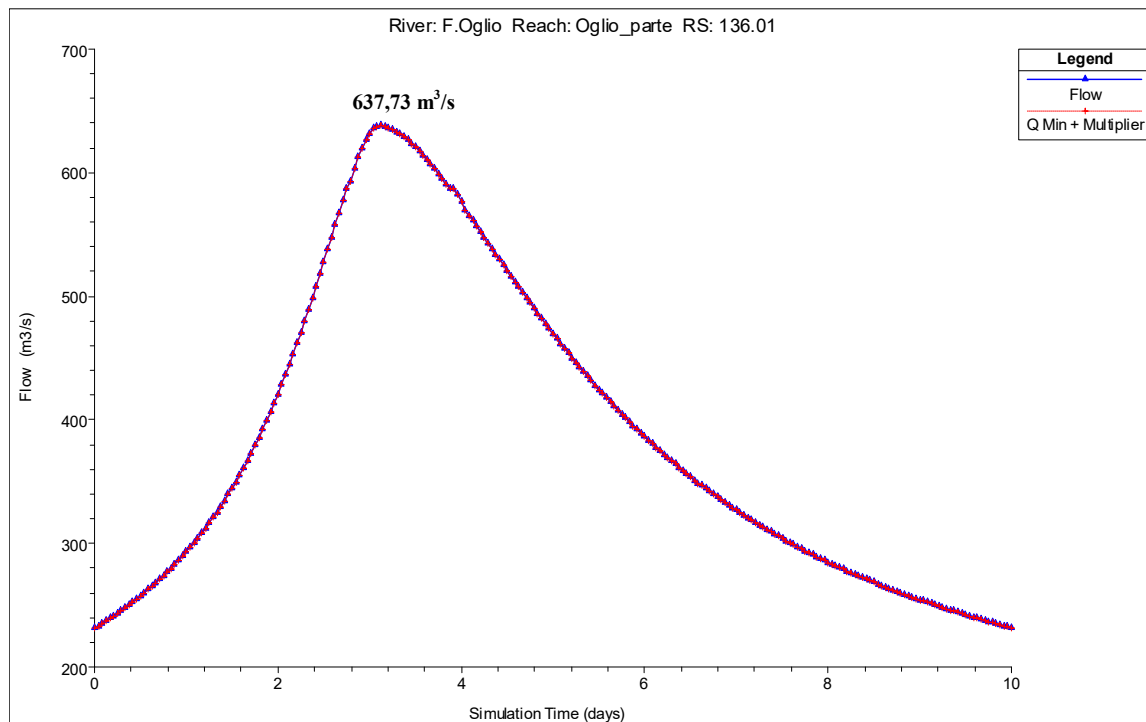


Figura 4.4.2 – Idrogramma d'immisione laterale alla sez. 137.01– f.Oglio



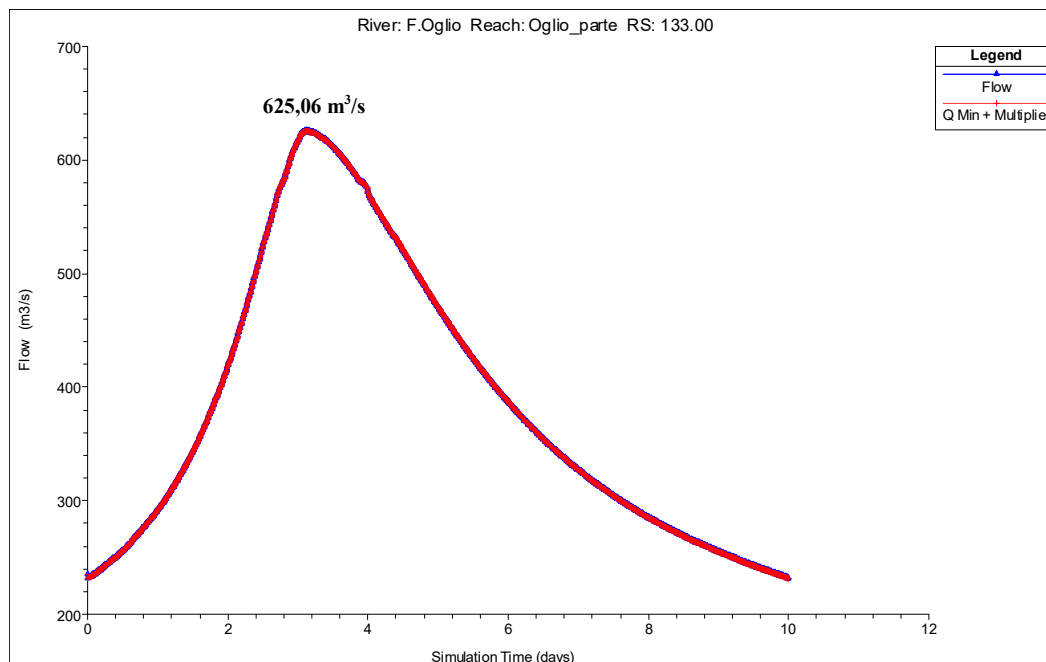
- Tratto n.2 da sez. iniziale 136.01 a sez. 133.00:
 - Idrogramma della piena di progetto con TR 200 anni relativo alla sezione di chiusura OG 14_Calcio, dello studio d'approfondimento dell'AdBPo, determinato come descritto nel precedente paragrafo 3.3.

Figura 4.4.3 – Idrogramma della piena con Tr200 anni sez. 136.01 – f.Oglio



- Tratto n.3 da sez. iniziale 133.00 a sez. 131.01:
 - Idrogramma della piena di progetto con TR 200 anni relativo al f. Oglio alla sezione 133.00 condizioni iniziali di portata di 231,29 m³/s

Figura 4.4.4 – Idrogramma della piena con Tr200 anni sez. 136.01 – f.Oglio



4.5 Modellazione idraulica

La durata dell'evento di piena simulato mediante la modellazione idraulica 1D/2D è di 240 ore (10 giorni), necessaria al fine di ottenere dal programma il calcolo dei flussi nelle aree 2D, fino al limite estremo delle aree allagabili ed all'esaurimento dei deflussi nelle aree allagate.

Flusso monodimensionale (1/D)- Profili idraulici

I risultati del calcolo idraulico, sono riportati nella seguente tabella, in cui, per ciascuna sezione del modello geometrico, costruito come illustrato nel precedente paragrafo 4.2, sono riportati i valori dei principali parametri idraulici della corrente (quota del pelo libero, quota dell'altezza critica, quota dell'energia specifica, velocità della corrente nell'alveo, numero di Froude ed altri), relativi al deflusso, in condizioni di moto vario monodimensionale, della portata massima degli idrogrammi di piena di progetto, lungo i singoli tratti dei corsi d'acqua, nelle condizioni fisiche attuali.

L'andamento e le quote del pelo libero della corrente, risultanti dalla modellazione idraulica eseguita, sono rappresentati negli schemi grafici contenuti nel seguente capitolo 7, precisando che i profili idraulici rappresentano l'involuppo dei massimi livelli idrici raggiunti dalla piena nelle sezioni, in momenti diversi.

Tabella n. 4.5.1 dei risultati della modellazione idraulica 1D – f. Oglio

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Length	Cum Ch	Min Ch El	Levee El	Levee El	Max Chl	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top
			(m3/s)	Chnl (m)	Len (m)	(m)	Left (m)	Right (m)	Dpth (m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	Width (m)
F. OGLIO - Tratto n.1	139.01	Max WS	641.35	251.00	2695.00	118.09	130.72	130.00	5.21	123.30		123.64	0.004742	2.59	247.33	84.87
	139.009		Lat Struct													
	139.008		Lat Struct													
	139.00	Max WS	448.04	415.00	2444.00	117.99	129.41	129.00	4.53	122.52		122.81	0.003658	2.38	188.16	52.61
	138.01	Max WS	299.81	504.00	2029.00	117.06	121.35	121.18	3.75	120.81		121.08	0.005771	2.32	129.04	53.32
	138.008		Lat Struct													
	138.005		Lat Struct													
	138.00	Max WS	299.32	12.00	1525.00	115.94	119.02	119.82	3.51	119.45	118.05	119.48	0.000325	0.72	415.30	218.85
	137.90		Inl Struct													
	137.88	Max WS	299.33	77.00	1513.00	115.94	119.02	119.82	2.38	118.32		118.46	0.003466	1.70	176.54	204.78
	137.04	Max WS	299.33	12.00	1436.00	116.35	118.42	118.54	1.90	118.25	117.32	118.30	0.000556	1.03	290.27	191.35
	137.038		Inl Struct													
	137.035	Max WS	299.33	212.00	1424.00	115.97	118.42	118.54	2.25	118.22		118.26	0.000295	0.80	372.21	191.22
	137.03	Max WS	295.37	146.00	1212.00	113.69	117.22	117.64	4.20	117.89		118.15	0.001201	2.25	131.34	154.10
	137.02	Max WS	264.57	224.00	1066.00	113.23	117.39	117.24	4.63	117.86		118.00	0.001412	1.64	161.26	224.81
	137.019		Lat Struct													
	137.018		Lat Struct													
	137.01	Max WS	557.88	36.00	842.00	114.16	116.73	117.63	3.24	117.40	116.48	117.53	0.001108	1.60	348.29	212.35
	137.008		Inl Struct													
	137.005	Max WS	557.89	237.00	806.00	113.58	116.52	115.99	3.60	117.18		117.25	0.000240	1.09	510.98	219.17
137.00	Max WS	473.87	285.00	569.00	112.17	116.20	115.23	4.51	116.68		116.98	0.002737	2.43	195.29	144.54	
136.99		Lat Struct														
136.98		Lat Struct														
136.02	Max WS	375.88	284.00	284.00	109.99	114.49	116.26	6.03	116.02		116.17	0.003594	1.74	225.55	111.63	
F. OGLIO - Tratto n.2	136.01	Max WS	637.73	155.00	2710.00	109.50	119.81	118.58	5.19	114.69		115.34	0.002085	3.57	178.81	44.32
	136.00	Max WS	637.73	601.00	2555.00	109.78	114.44	114.17	4.19	113.97		114.76	0.005411	3.96	161.20	49.00
	135.90		Lat Struct													
	135.80		Lat Struct													
	135.01	Max WS	636.81	355.00	1954.00	105.34	112.51	113.47	7.37	112.71		112.79	0.000460	1.23	518.71	382.84
	135.00	Max WS	636.80	447.00	1599.00	105.12	112.24	112.52	6.27	111.39		111.85	0.005226	3.02	211.13	66.99
	134.50		Lat Struct													
	134.04		Lat Struct													
	134.01	Max WS	636.80	360.00	1152.00	104.96	110.82	111.70	5.08	110.04		110.49	0.000858	2.97	214.54	71.25
	134.00	Max WS	636.80	307.00	792.00	103.66	109.82	110.34	6.24	109.90		110.25	0.000500	2.60	245.09	72.57
133.01	Max WS	631.87	485.00	485.00	104.13	109.70	108.58	5.13	109.26		110.03	0.001082	3.90	162.01	101.20	

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Length Chnl (m)	Cum Ch Len (m)	Min Ch El (m)	Levee El Left (m)	Levee El Right (m)	Max Chl Dpth (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)
F. OGLIO - Tratto n.3	133.00	Max WS	624.47	267.00	1297.00	103.60	108.45	109.23	4.87	108.47		109.12	0.002740	3.56	175.43	623.11
	132.031	Lat Struct														
	132.03	Max WS	622.19	151.00	1030.00	103.83	107.57	111.82	4.29	108.12		108.60	0.001197	3.04	204.39	286.30
	132.025	Lat Struct														
	132.022	Max WS	598.75	9.00	879.00	105.01	107.73	107.88	3.14	108.15		108.48	0.000764	2.52	237.34	176.90
	132.021	Lat Struct														
	132.02	Max WS	575.23	49.00	870.00	105.01	107.73	105.63	3.80	108.10	107.20	108.50	0.000838	2.78	207.10	183.68
	132.0195	Inl Struct														
	132.019	Max WS	575.23	167.00	821.00	101.54	106.37	106.70	4.21	105.75		105.96	0.000291	2.00	288.08	78.12
	132.01	Max WS	575.23	247.00	654.00	100.31	106.03	105.91	5.07	105.38		105.74	0.002339	2.65	216.71	64.07
	132.009	Lat Struct														
	132.00	Max WS	575.23	407.00	407.00	99.92	104.88	105.24	4.81	104.73		105.15	0.002435	2.89	199.33	53.24
131.01	Max WS	574.75			98.98	104.49	103.86	5.06	104.04	102.66	104.24	0.002008	2.00	287.08	193.90	

Flusso bidimensionale (2D) nelle aree di allagamento

Il funzionamento delle strutture di collegamento fra i vari tratti del corso d'acqua e le aree di allagamento, è rappresentato nel capitolo 7 in cui, per ogni struttura, è riportato l'idrogramma dei flussi tracimati e delle portate transitate lungo il corso d'acqua a monte ed a valle della struttura laterale, nel corso della piena, ed il volume massimo tracimato.

Si descrive nel seguito l'andamento dell'allagamento e dello scorrimento delle acque nelle aree esondate, come risulta dalla simulazione eseguita, riportando nel seguito gli schemi grafici delle situazioni nei momenti maggiormente significativi.

L'idrogramma di progetto ha una durata di 240 ore (10 giorni), con andamento regolare della curva, molto ripida nella fase di aumento della portata fino al colmo della piena di 641,35 m³/s, raggiunto dopo poco più di tre giorni dall'inizio dell'incremento delle portate ordinarie (232 m³/s). La pendenza della curva di esaurimento è anch'essa regolare, nettamente meno ripida rispetto alla parte ascendente, con durata di sette giorni e mezzo.

L'applicazione nel modello di calcolo del predetto idrogramma, consente di simulare l'andamento dei deflussi in alveo e nelle aree allagate, descritto nel seguito.

- Dopo dieci minuti dall'inizio della modellazione con portate di 232 m³/s, ha inizio la tracimazione delle acque dalle rogge Antegnata e Naviglio Pallavicini, derivate dall'Oglio, a causa dell'insufficiente capienza dei propri alvei, a fronte delle portate che si riversano nei canali alle derivazioni, per effetto degli alti livelli dell'Oglio, nonostante, nel modello di calcolo, si considerino chiuse le paratoie di sbarramento delle derivazioni. Le tracimazioni dalla roggia Antegnata si riversano nella prima area d'espansione naturale in sponda destra del f. Oglio. La stessa situazione si verifica lungo il corso del Naviglio Pallavici, dove le acque di piena iniziano a tracimare ed espandersi nell'area golenale tra la sponda destra del f. Oglio e la sponda sinistra dello stesso Naviglio Pallavici.

- Direttamente dal f. Oglio, la prima tracimazione si verifica in sponda destra circa 560 m a monte del ponte SS 11 Padana Superiore dove le acque tracimate iniziano ad espandersi vero sudovest fino al rilevato stradale della SS 11 VAR/A Variante di Calcio. L'allagamento interessa l'area golenale delimitata da un colatore irriguo, derivato dalla roggia Molino, in direzione sudovest, la cui sponda destra delimita l'area golenale interessata dall'allagamento, per effetto della maggiore quota rispetto al piano di campagna.

- Dopo circa un'ora dall'inizio della tracimazione della piena nelle aree d'espansione naturali, le acque presenti nelle aree d'espansione naturali iniziano a rientrare nel f. Oglio attraverso la sponda destra, per quanto riguarda la parte a monte del ponte della SS 11 Padana Superiore, in prossimità di una curva a gomito dell'alveo con la presenza di n.2 briglie trasversali, mentre per l'area golenale al confine sud del territorio comunale, attraverso lo scaricatore del Naviglio Pallavicini. Questi due

punti di rientro favoriscono, durante tutta la durata dell'evento, il deflusso verso il f. Oglio delle acque esondate a monte.

- Le acque esondate nell'area golenale a monte della SS 11 Padana Superiore, con l'aumentare della portata tracimata, iniziano a scorrere lungo il piede nord del rilevato stradale, dirigendosi verso l'area edificata del comune di Calcio interessando parte della sede stradale di via Aldo Moro, via Papa Giovanni XXIII e la SS 11 VAR/A Variante di Calcio, con un battente di circa 20 cm.

- Durante le prime 12 ore dall'inizio dell'evento simulato, le aree interessate dallo scorrimento delle acque esondate sono prevalentemente aree verdi e sedi stradali, tranne le tre abitazioni che si trovano all'interno del triangolo di area delimitato da via Aldo Moro, via Papa Giovanni XXIII e via D. Alighieri e la c.na Borellina e l'allevamento ittico nei pressi della derivazione Naviglio Pallavicini.

- La zona industriale di via Aldo Moro inizia ad essere interessata dalla presenza delle acque esondate dal f. Oglio 13 ore dopo l'inizio dell'evento, con un battente massimo sulle sedi stradali di circa 10 cm.


- Le acque esondate continuano ad aumentare e ad estendersi sia verso nord che verso sud, interessando la zona residenziale presente tra via Aldo Moro e via Papa Giovanni XXIII, fino all'intersezione con il corso della roggia del Molino, la quale costituisce il limite massimo dell'espansione della piena. Il battente massimo dell'esondatazione presente sulle sedi stradali si verifica lungo via Aldo Moro, dove si raggiungono circa 0,40 m.

- Transitato il colmo della piena lungo il tronco fluviale allo studio, 3 giorni dopo l'inizio dell'evento di progetto, le tracimazioni dalle sponde fluviali terminano progressivamente lungo i tratti critici, al raggiungimento in decremento delle portate limite.

- Successivamente inizia la fase di riflusso ed esaurimento delle acque esondate verso i ricettori e verso i punti di rientro precedentemente descritti.

- Al termine della simulazione, rimangono allagate alcune aree depresse o golenali che non riescono a defluire nel f. Oglio o verso i canali ricettori.

Gli schemi planimetrici seguenti mostrano l'espansione massima raggiunta dalle acque nelle varie aree di allagamento e l'andamento dei flussi in un istante significativo della simulazione con TR200 anni.

 Limite aree allagabili per lo scenario poco frequente M/P2 del PGRA


 Limite aree allagabili con classe di rischio R4 (PGRA)

Figura n°4.5.1 - Planimetria dell'espansione massima dell'allagamento – Tratto nord

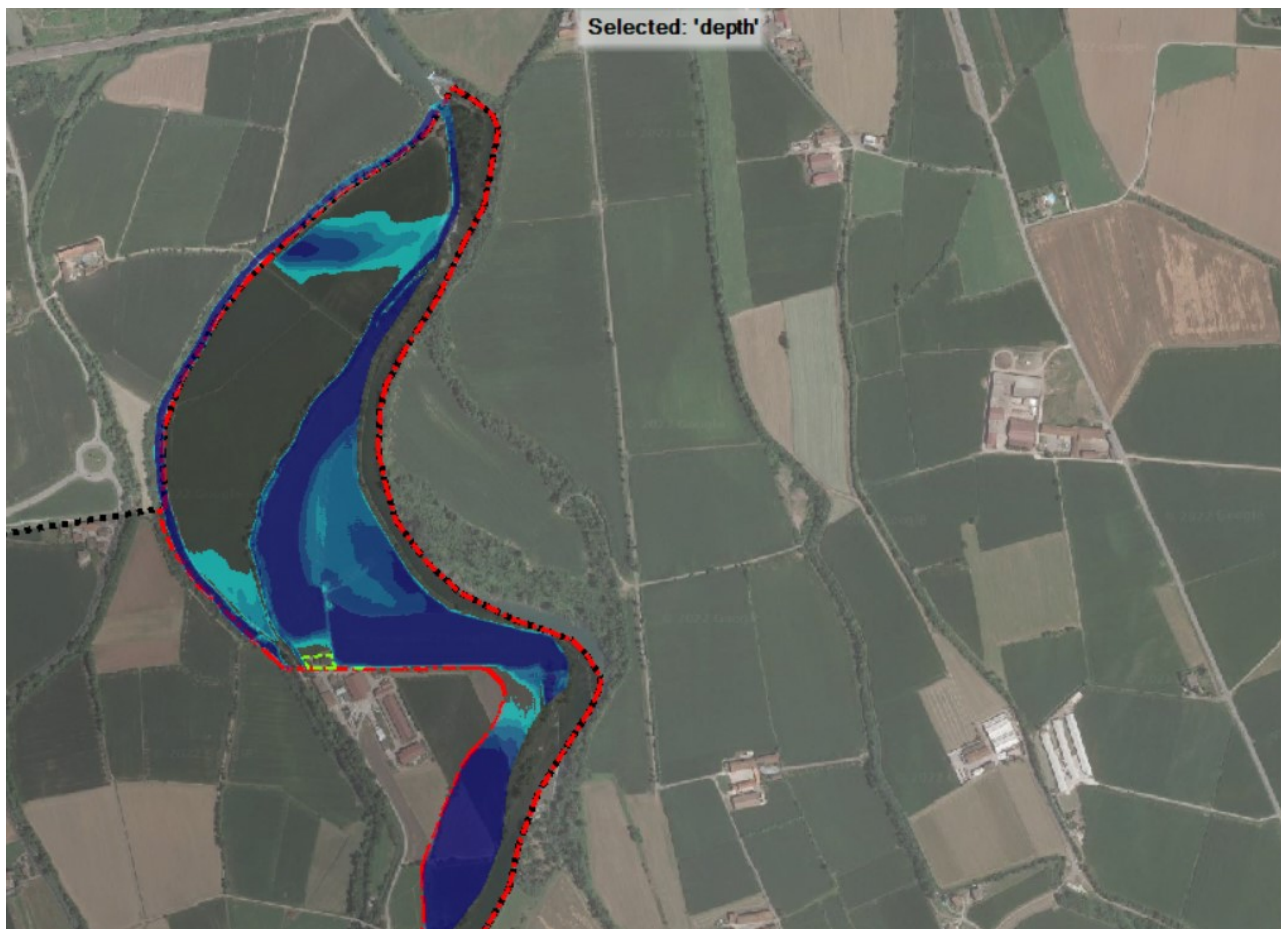


Figura n°4.5.2 - Planimetria dell'espansione massima dell'allagamento – Tratto centrale

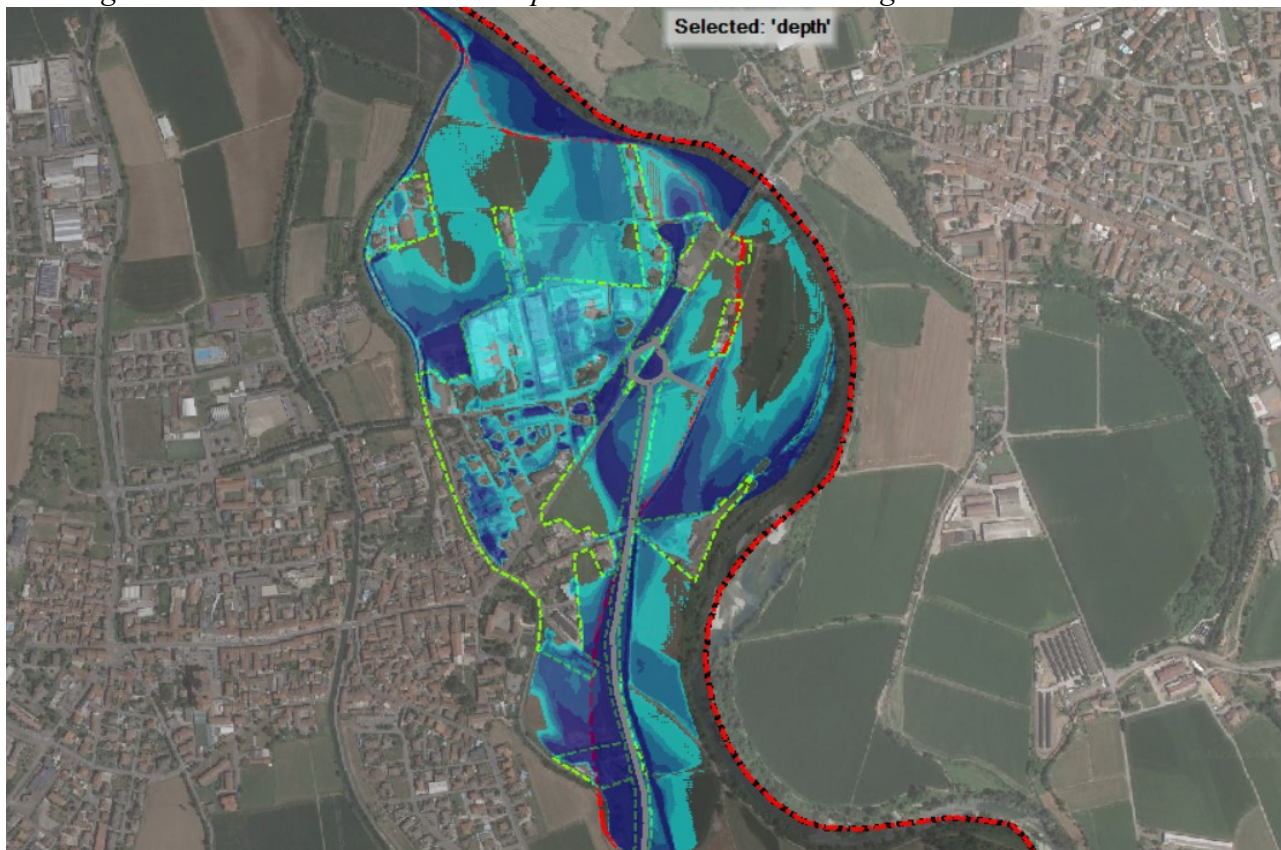


Figura n°4.5.3 - Planimetria dell'espansione massima dell'allagamento – Tratto sud



Figura n°4.5.4 – Flussi all'inizio della modellazione – Tratto nord

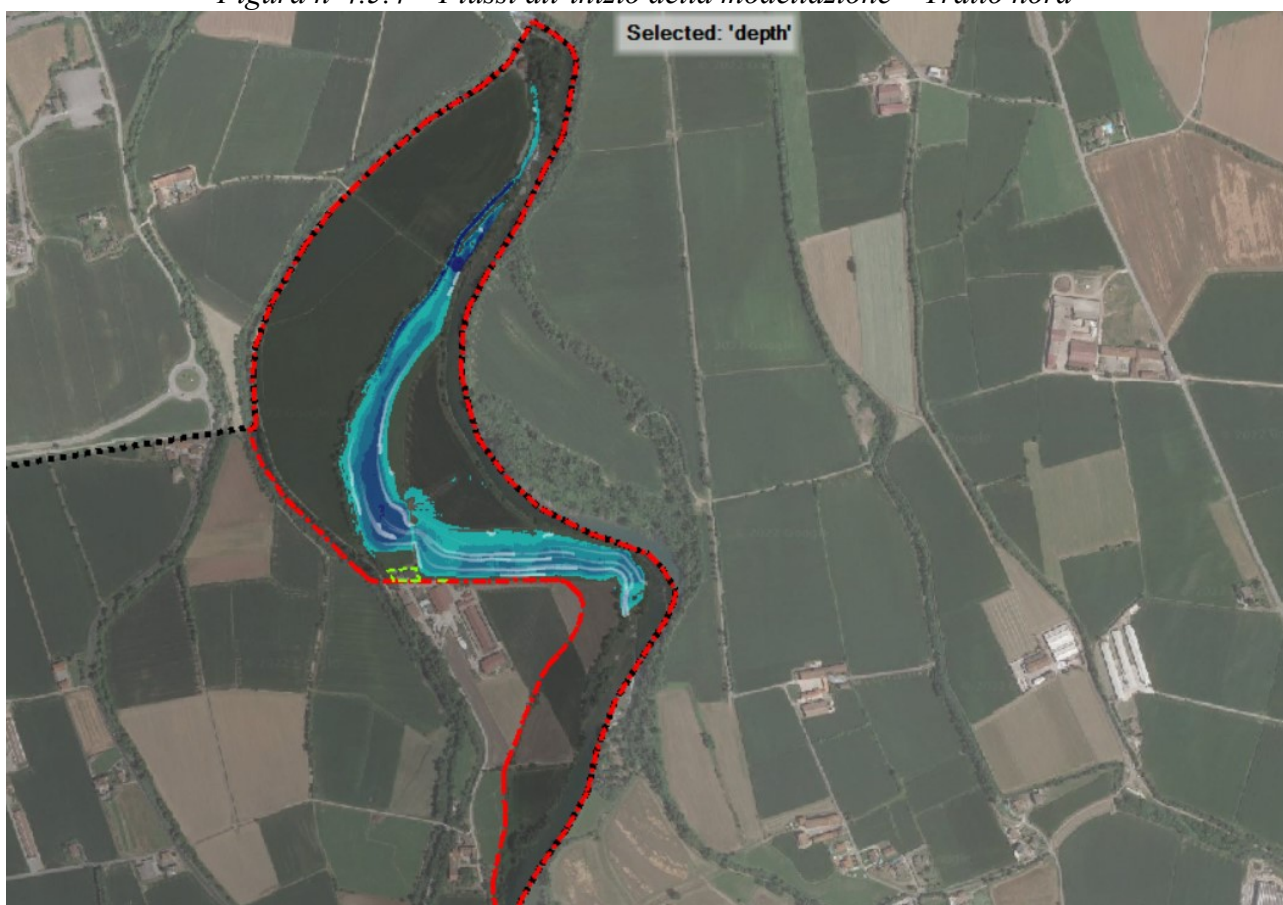


Figura n°4.5.5 – Flussi all'inizio della modellazione – Tratto centrale



Figura n°4.5.6 – Flussi all'inizio della modellazione – Tratto sud

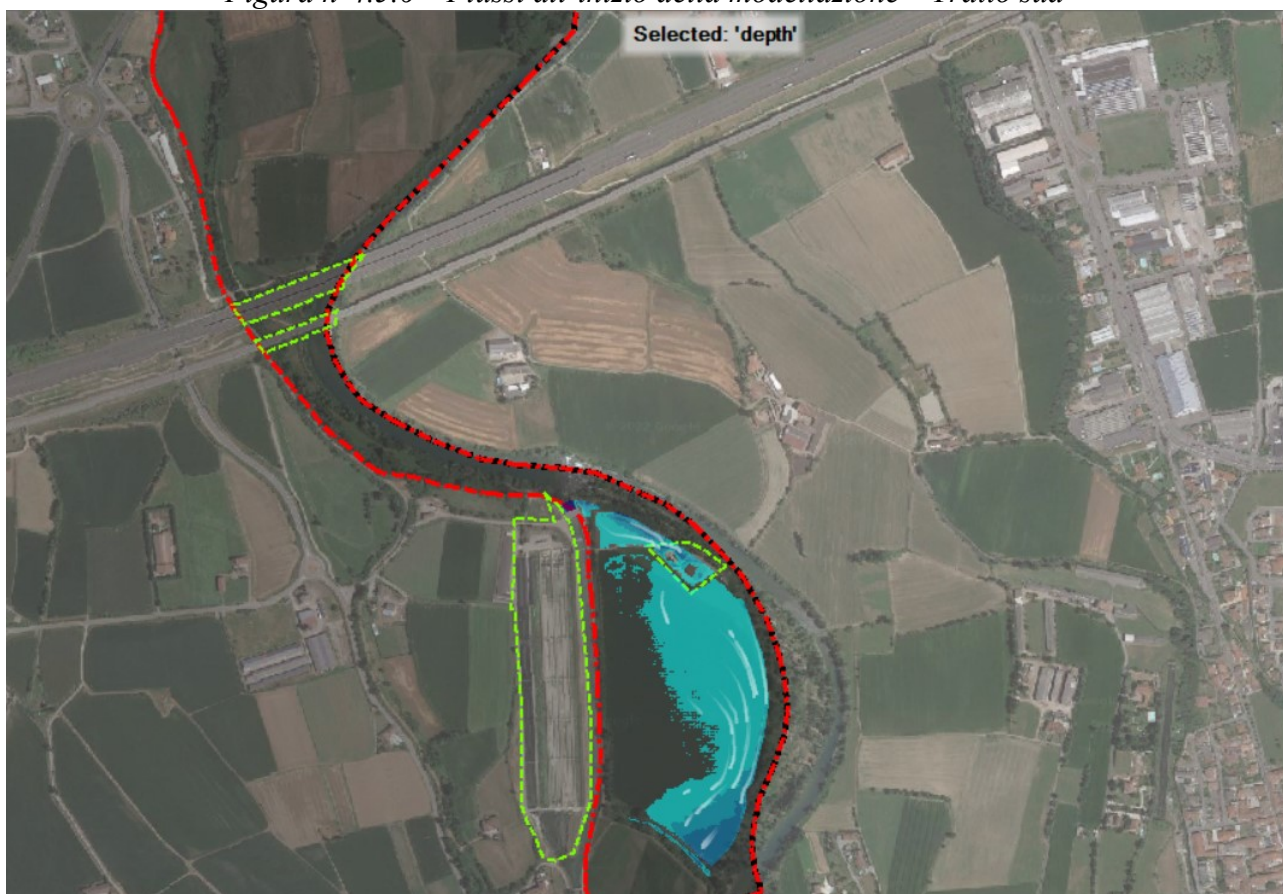


Figura n°4.5.7 - Flussi massimi nelle aree di allagamento- Tratto nord

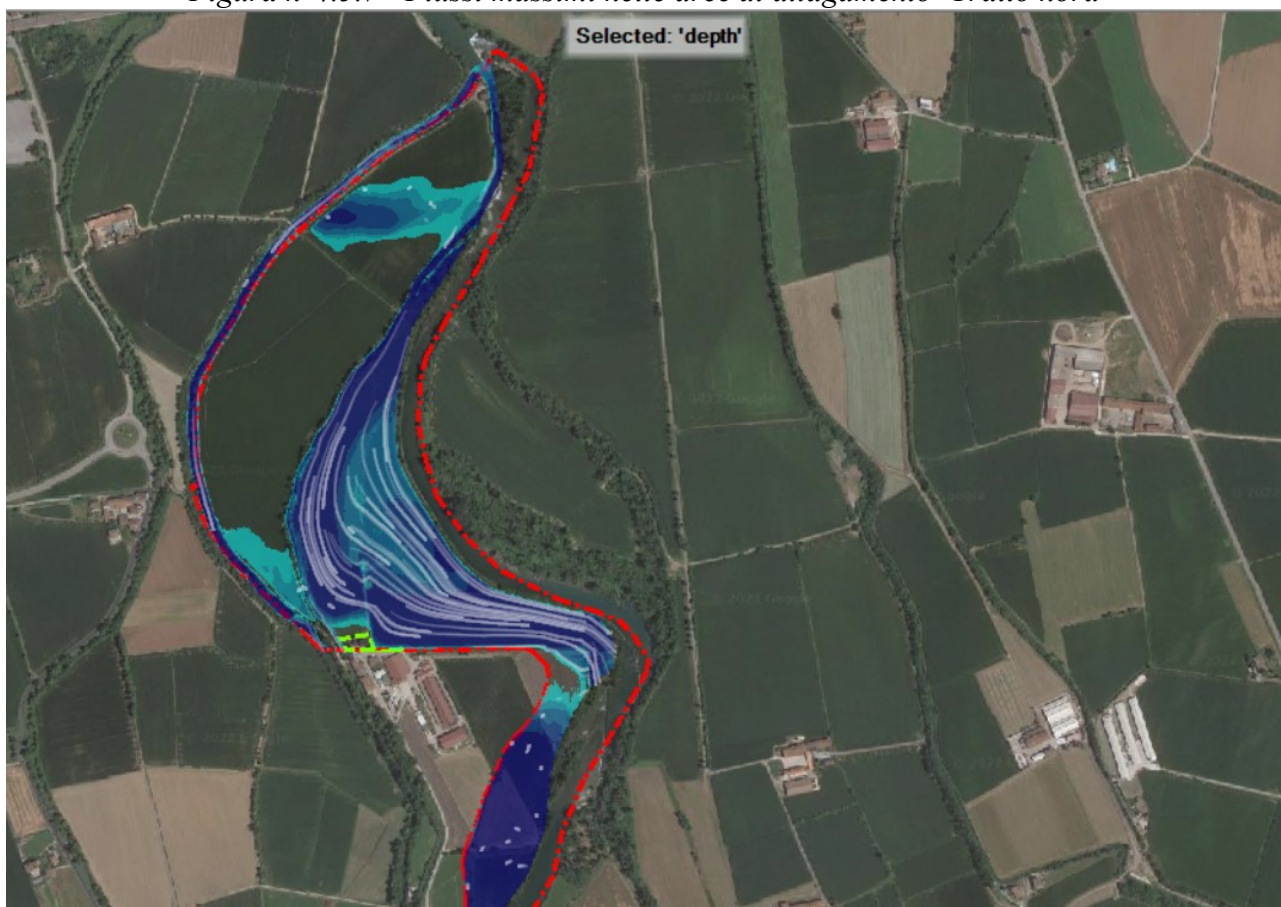


Figura n°4.5.8 - Flussi massimi nelle aree di allagamento- Tratto centrale

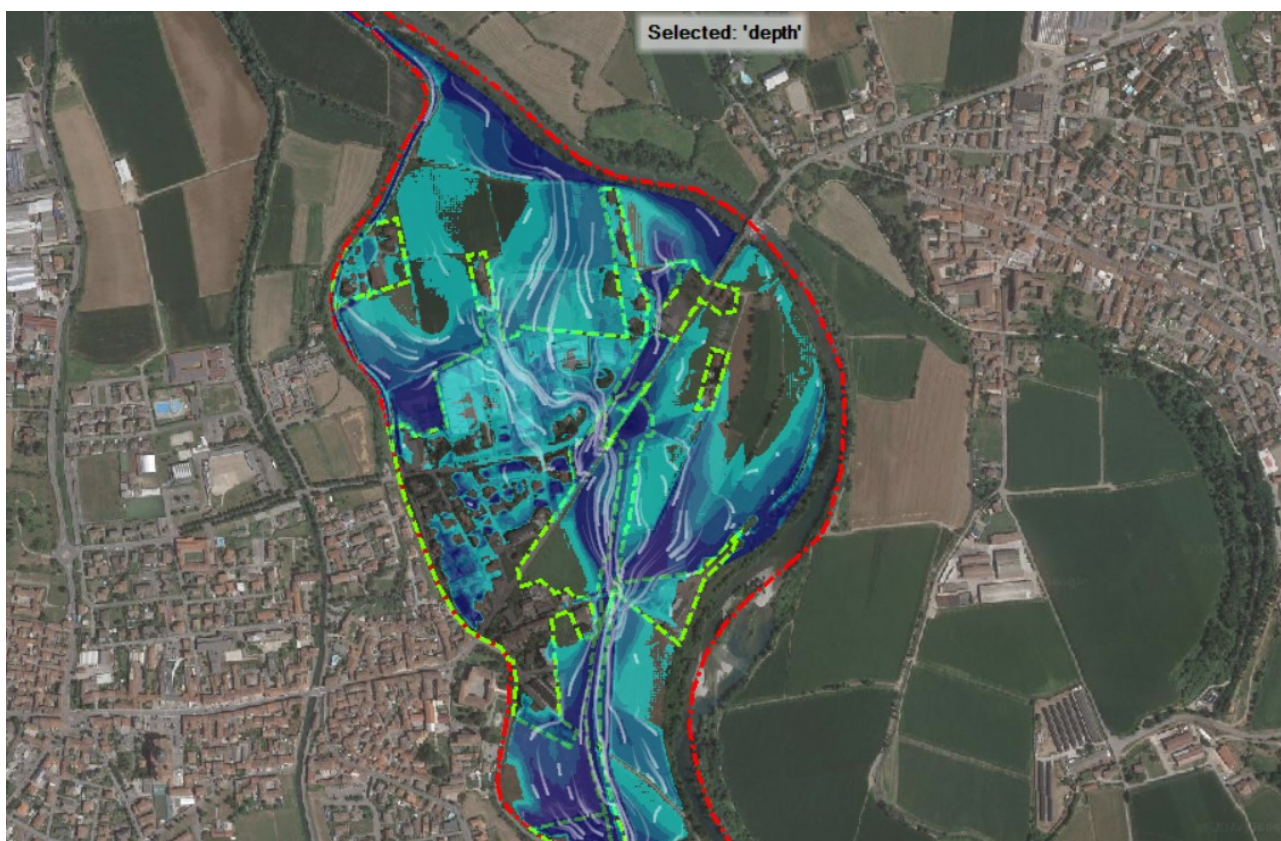


Figura n°4.5.9 - Flussi massimi nelle aree di allagamento – tratto sud

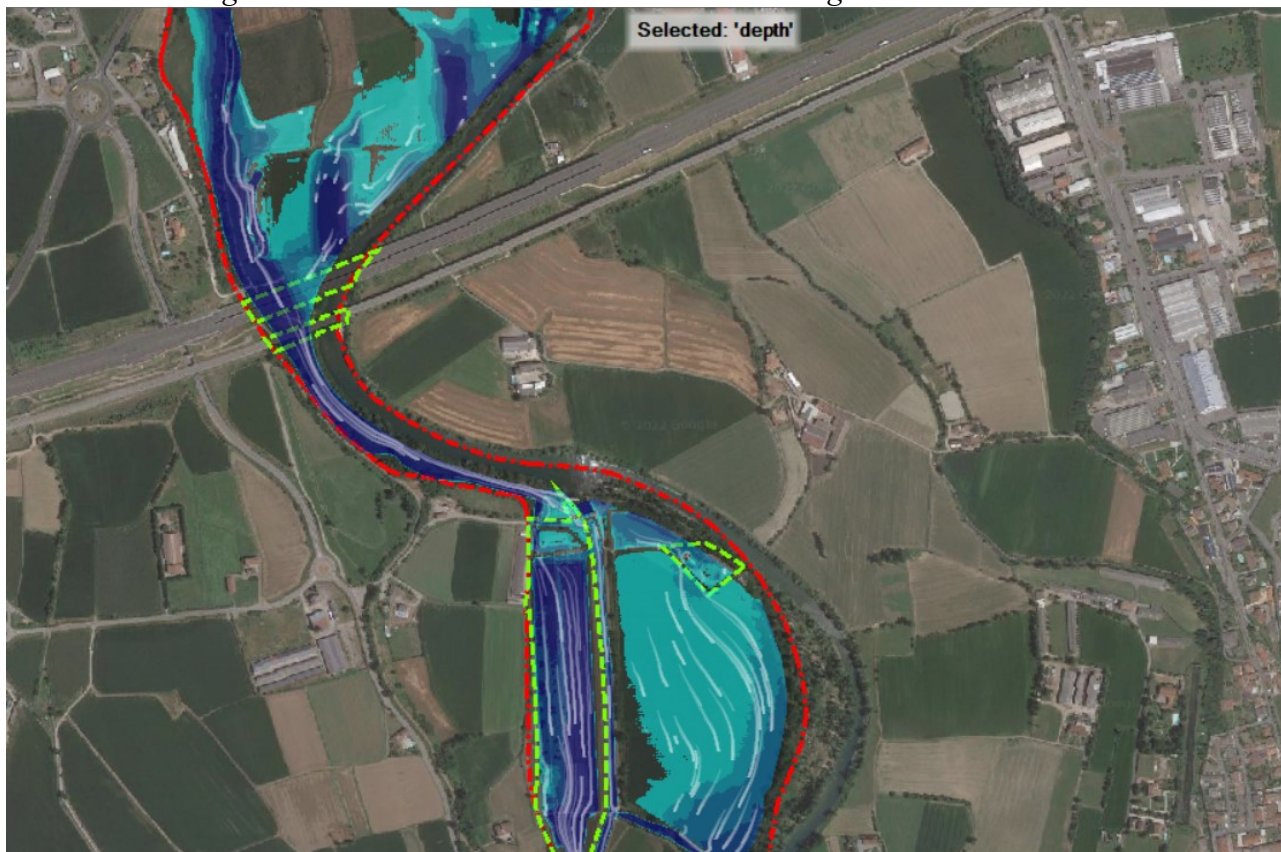


Figura n°4.5.10 – Allagamento residuo alla fine dell'evento – Tratto nord

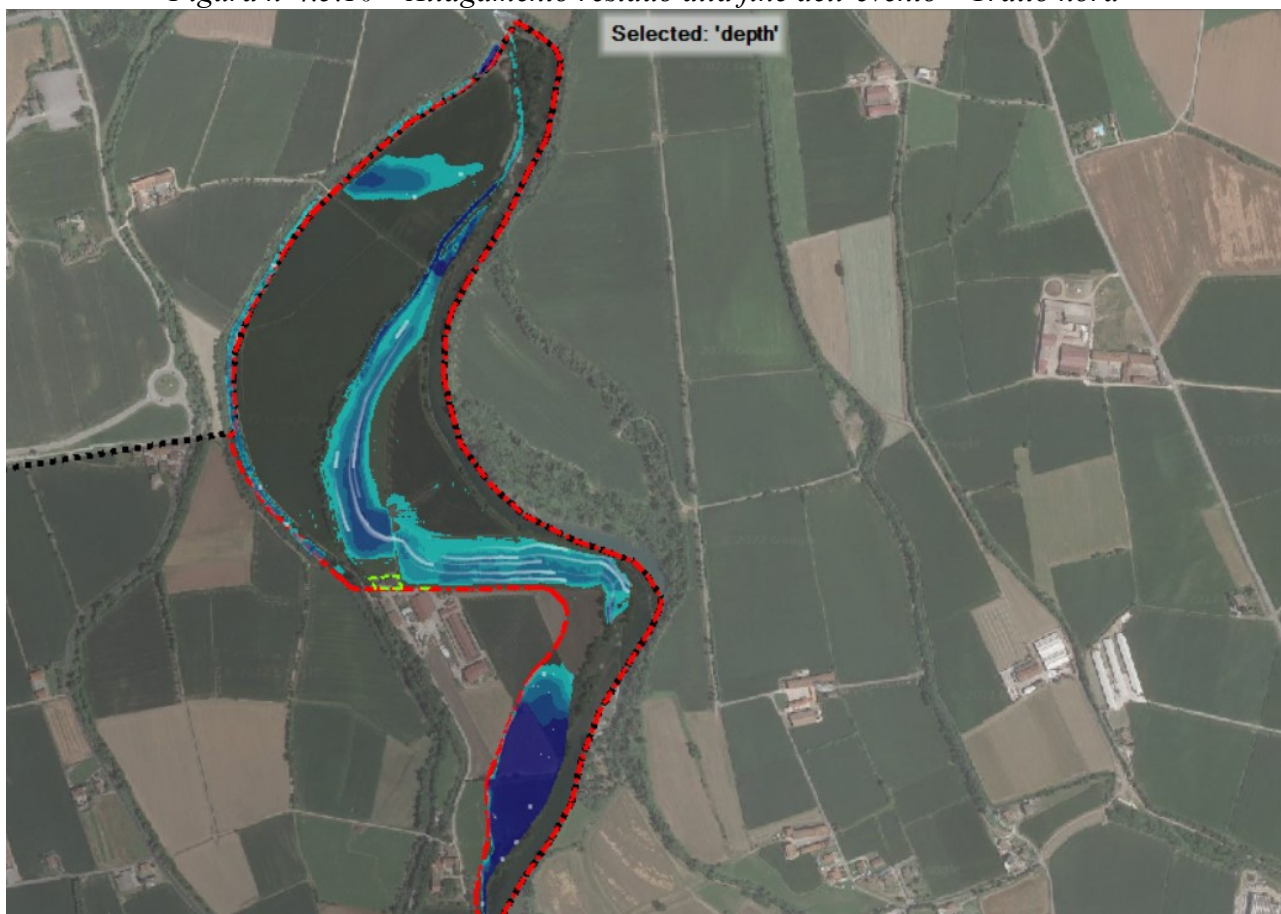


Figura n°4.5.11 – Allagamento residuo alla fine dell'evento – Tratto centrale

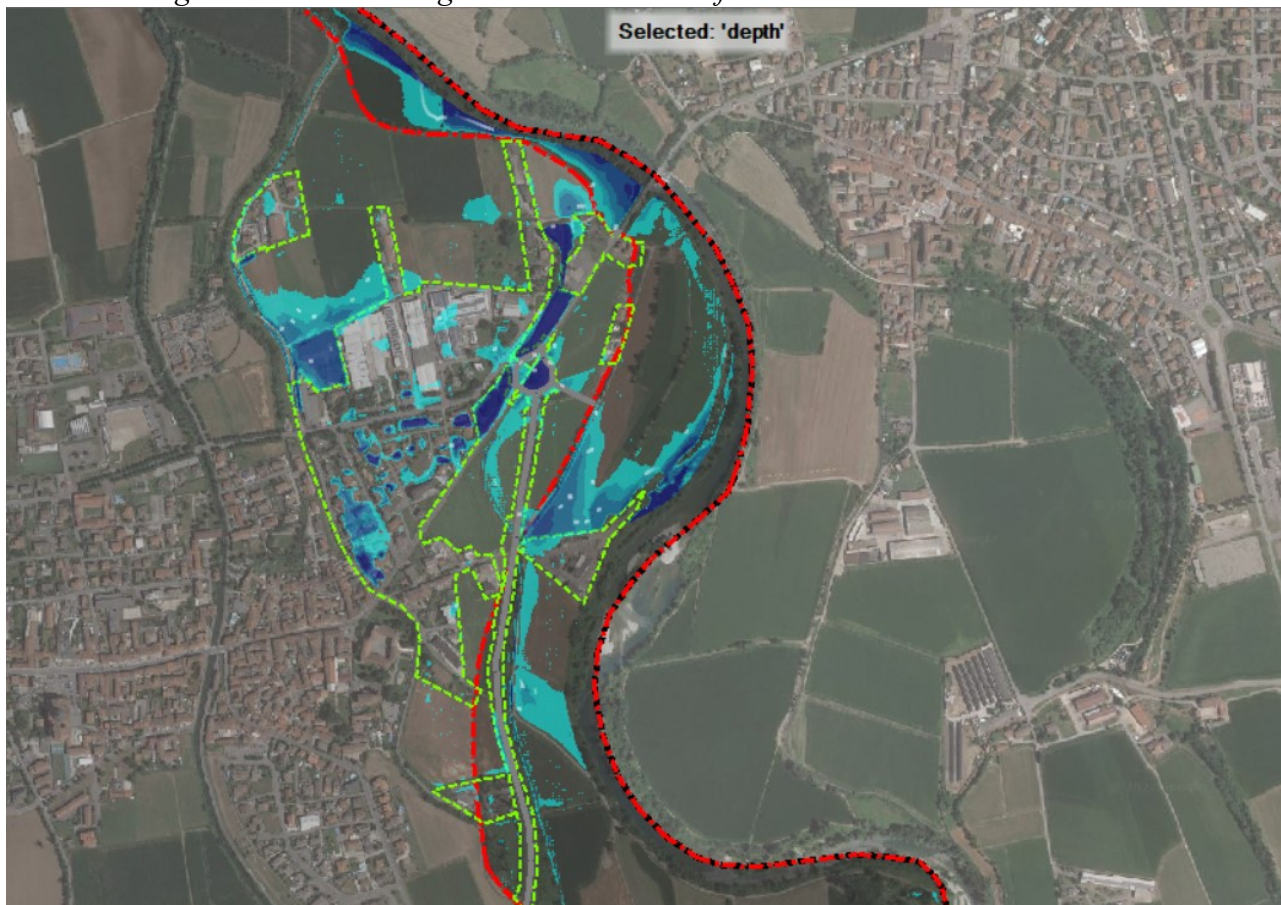
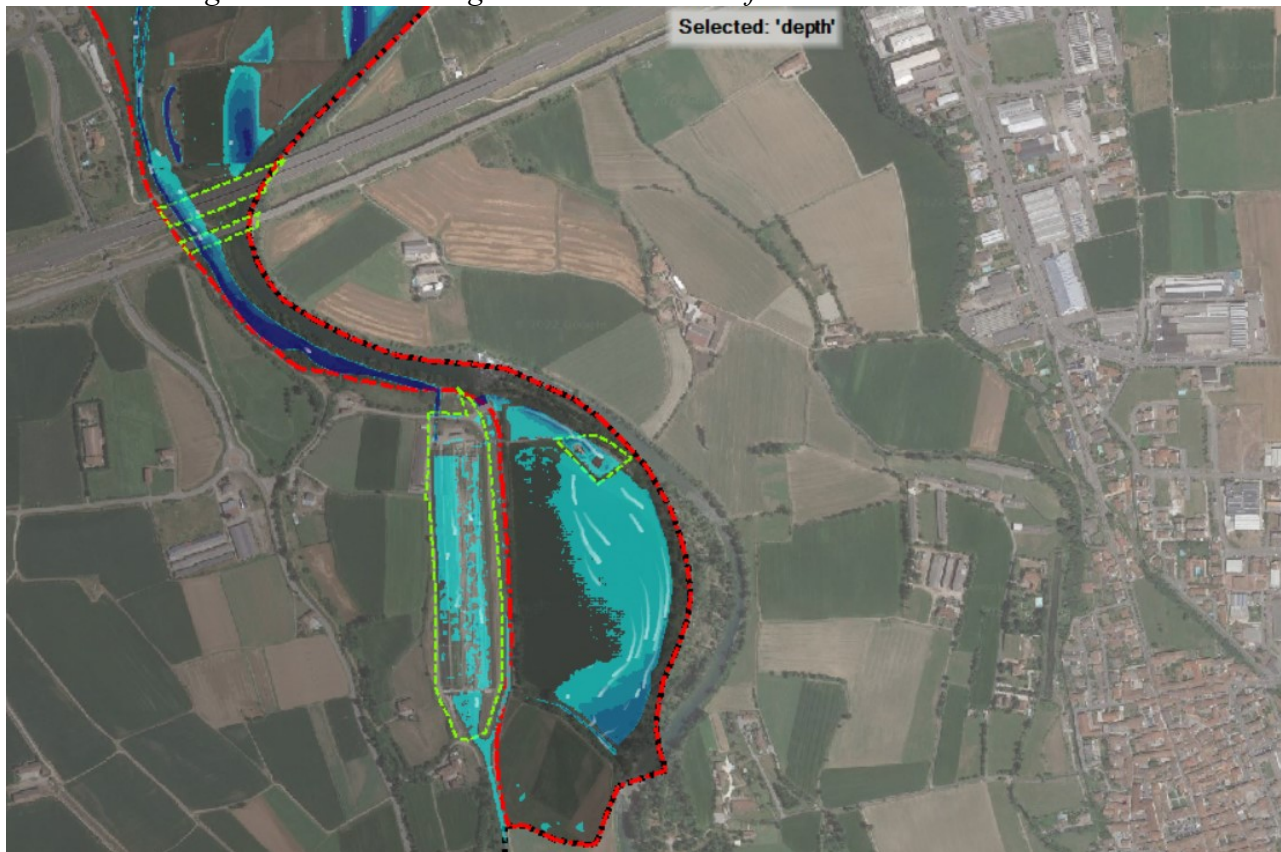


Figura n°4.5.12 – Allagamento residuo alla fine dell'evento – Tratto sud



4.6 Rappresentazione grafica dei risultati

Per l'intero ambito interessato dalle possibili esondazione delle piene del f. Oglio, i risultati dello studio idraulico sono rappresentati nelle allegate carte tematiche, elencate e descritte nel seguito:

Tavola n. T01 – Carta delle aree esondabili – Battente

Contenente la delimitazione delle aree esondabili, corrispondente alla massima espansione dell'allagamento risultante dalla modellazione idraulica dell'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, e la mappatura delle altezze massime del battente d'acqua, mediante cromatismo, al fine di distinguere, all'interno delle aree allagate, i valori massimi del battente, espresso in metri, nei seguenti insiemi, per la zonazione della pericolosità, come stabilito nella DGR IX/2616/2011 All. 4, paragrafo 3.4.

$$h \leq 0,20 \text{ m}$$

$$0,20 < h \leq 0,30$$

$$0,30 < h \leq 0,50$$

$$0,50 > h \leq 0,70$$

$$h > 0,70 \text{ m}$$

Tavola n. T02 – Carta delle aree esondabili – Velocità

Contenente la delimitazione delle aree esondabili, corrispondente alla massima espansione dell'allagamento risultante dalla modellazione idraulica dell'evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni, e la mappatura delle velocità massime dei flussi d'acqua, mediante cromatismo, al fine di distinguere, all'interno delle aree allagate, i valori massimi delle velocità, espressi in metri/secondo, nei seguenti insiemi, per la zonazione della pericolosità, come stabilito nella DGR IX/2616/2011 All. 4, paragrafo 3.4.

$$h \leq 0,40 \text{ m/s}$$

$$0,40 < h \leq 0,60$$

$$0,60 < h \leq 1,50$$

$$h > 1,50 \text{ m/s}$$

5 ZONAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ


La zonazione della pericolosità, all'interno delle aree allagabili, è eseguita mediante l'analisi del battente e della velocità del flusso idrico, ottenuti dai risultati della modellazione idraulica in ogni punto significativo del terreno, in combinazione con i rispettivi valori massimi, secondo lo schema di cui al paragrafo 3.4 dell'Allegato 4 alla DGR IX/2616/2011, e della loro distribuzione planimetrica.

Le aree allagate sono così suddivise nelle quattro classi di pericolosità:

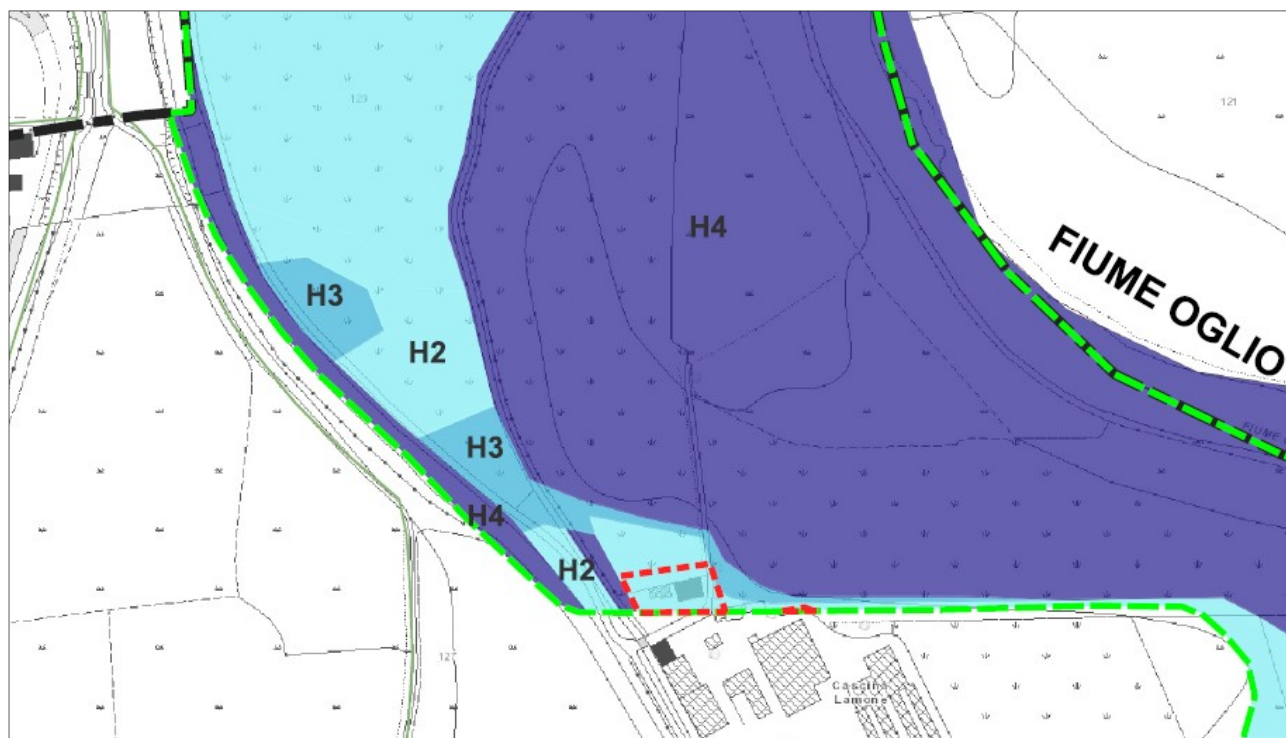
- H2 o H1 – Media o moderata
- H3 – Elevata
- H4 – Molto elevata

Come rappresentato nella tavola grafica n. T03 – Carta della pericolosità

6 PERICOLOSITÀ NELLE AREE CON CLASSE DI RISCHIO R4 (PGRA)

 Limite aree allagabili con classe di rischio R4 (PGRA)

1) Area H2 - Pericolosità media



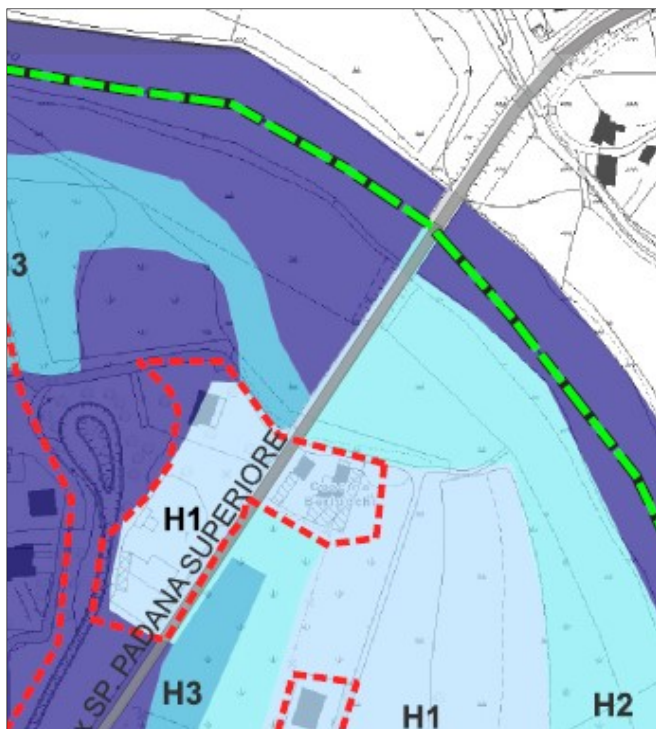
2) Area per l'80% a pericolosità H3 - Pericolosità elevata e il 20% a pericolosità H2 – Pericolosità media



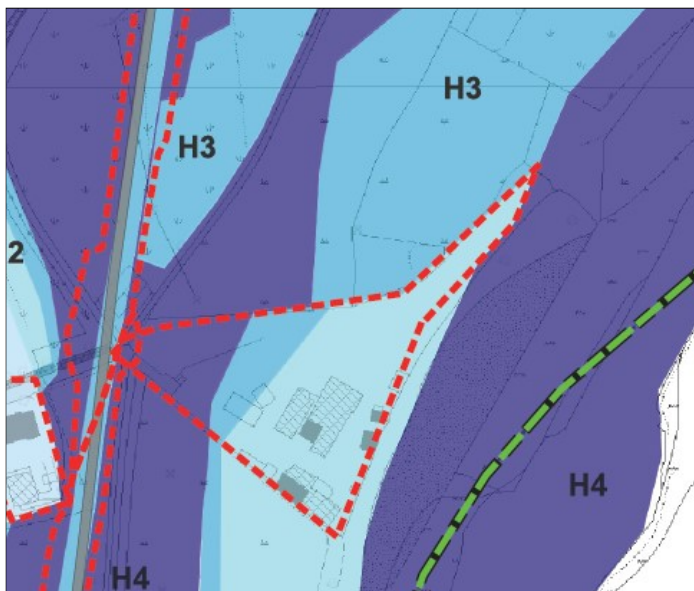
3) Area a pericolosità H4 - Pericolosità molto elevata e a pericolosità H3 – Pericolosità elevata per la parte nord – nord/est e pericolosità inferiori H2 e H1 nella zona sud.



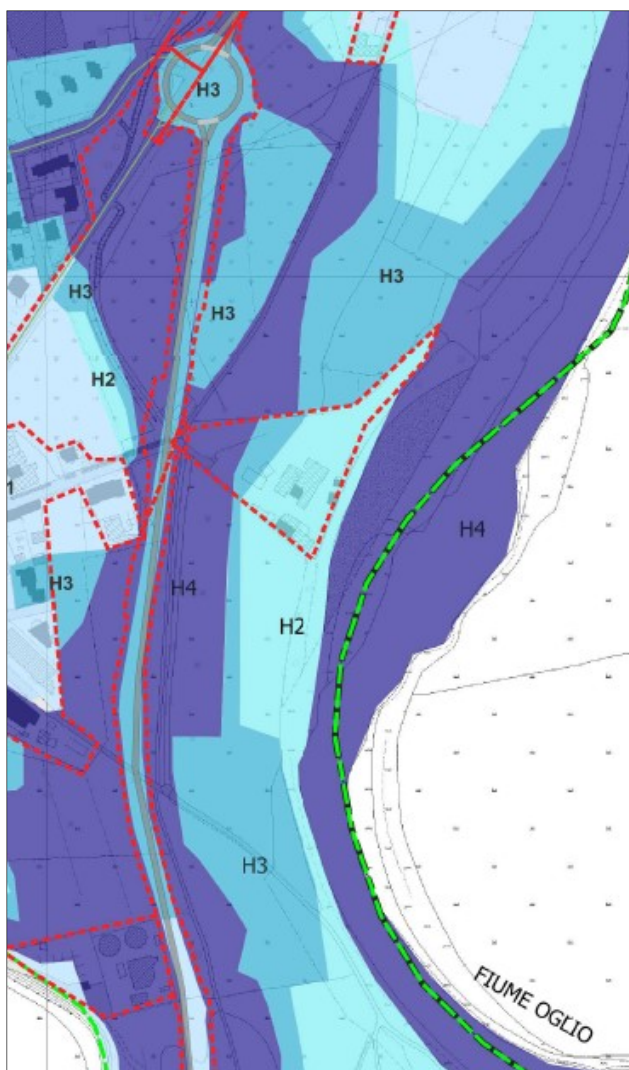
4) Area a pericolosità H1 - Pericolosità moderata con piccole parti aventi quota altimetrica inferiore rientranti nelle H4 – pericolosità molto elevate e H2 – Pericolosità media.



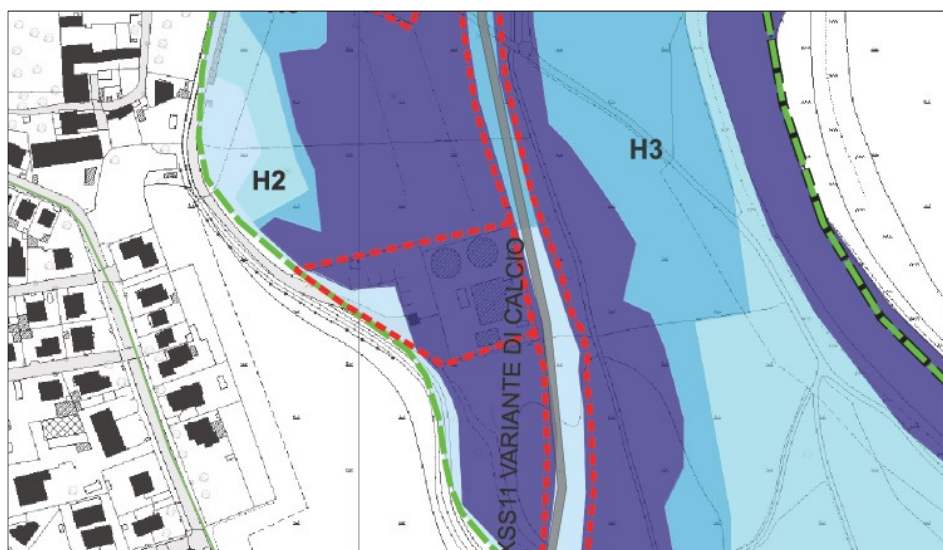
5) Area suddivisa in n.3 area a pericolosità differente H4 – H3 e H2 seguendo la direzione del deflusso delle acque esondate da ovest verso est in questa parte di territorio.



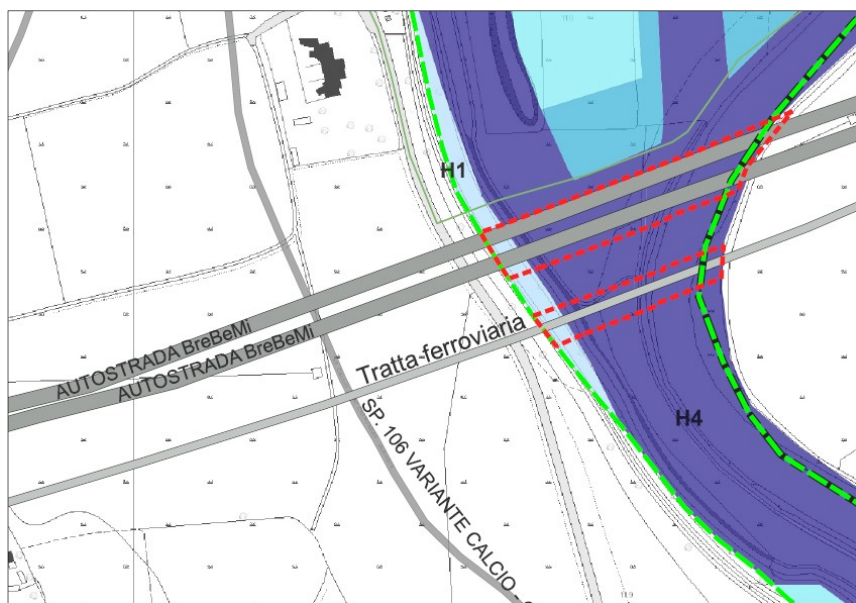
6) Area della strada SS 11 VAR/A Variante di Calcio con H3 - Pericolosità molto elevata per la parte nord e H2 – pericolosità media per la parte sud dove il rilevato stradale sale di quota.



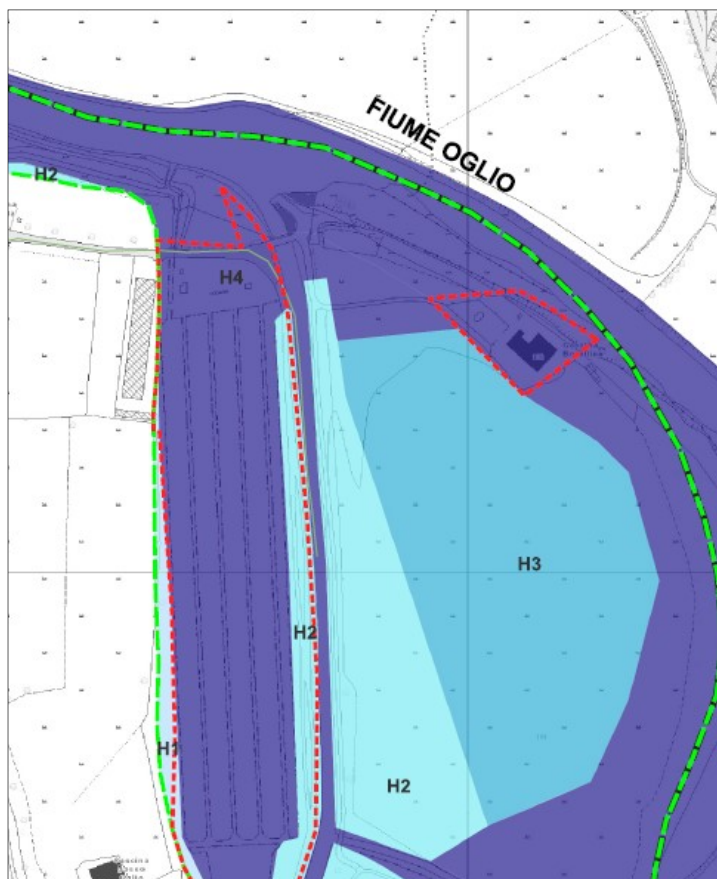
7) Area del depuratore comunale al 90% a pericolosità H4 - Pericolosità molto elevata



8) Area a pericolosità H4 - Pericolosità molto elevata ma nella parte golenale, l'impalcato del ponte autostradale e quello ferroviario non vengono interessati dall'erosione.

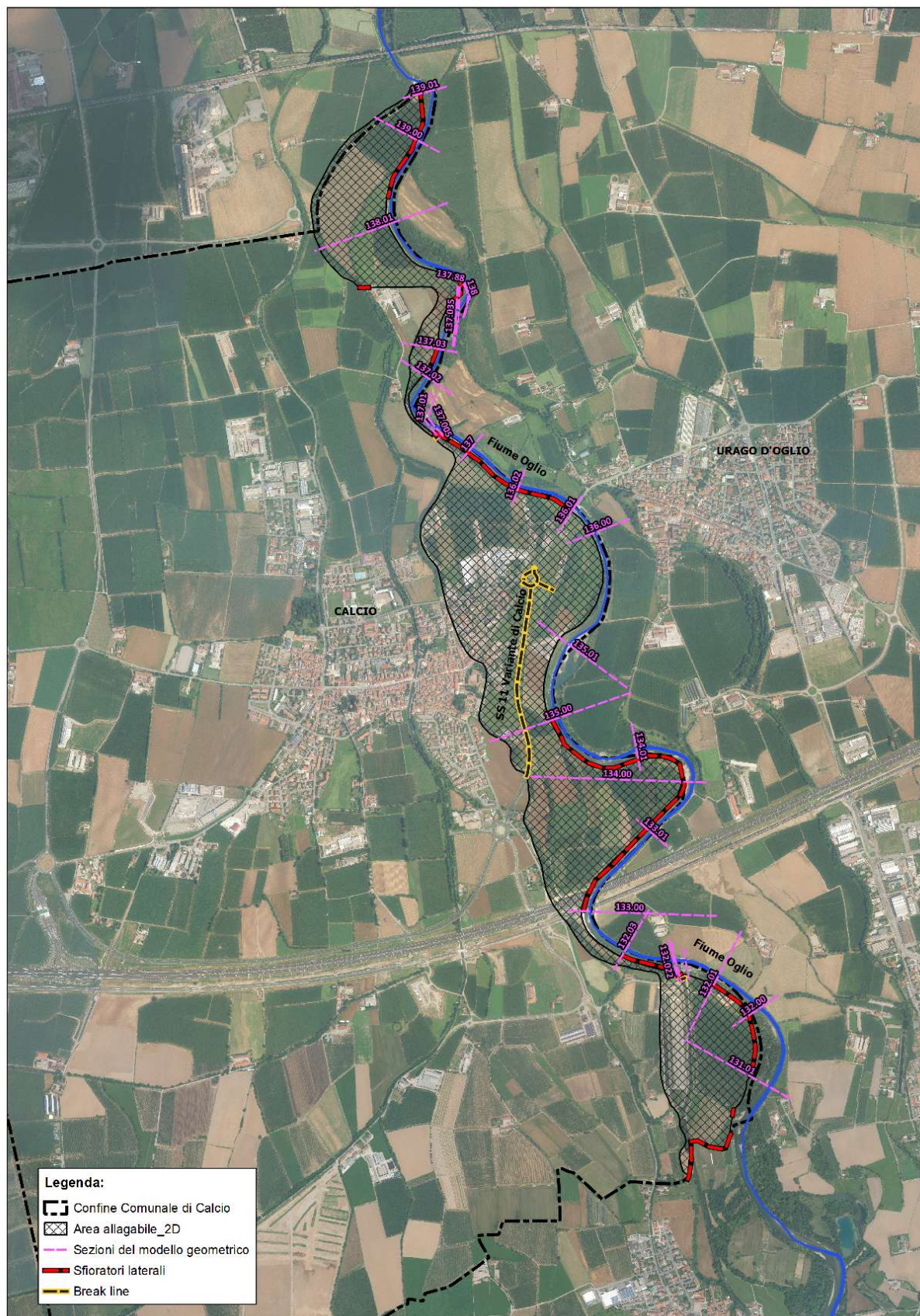


9) Aree interessate quasi esclusivamente da pericolosità H4 - Pericolosità molto elevata.



7 SCHEMI GRAFICI PER LA MODELLAZIONE IDRAULICA TR200

7.1 PLANIMETRIA



7.2 PROFILO LONGITUDINALE

Figura 7.2.1 - Involuppo delle altezze massime della piena con TR 200 nelle sezioni - tratto n.1 (monte)

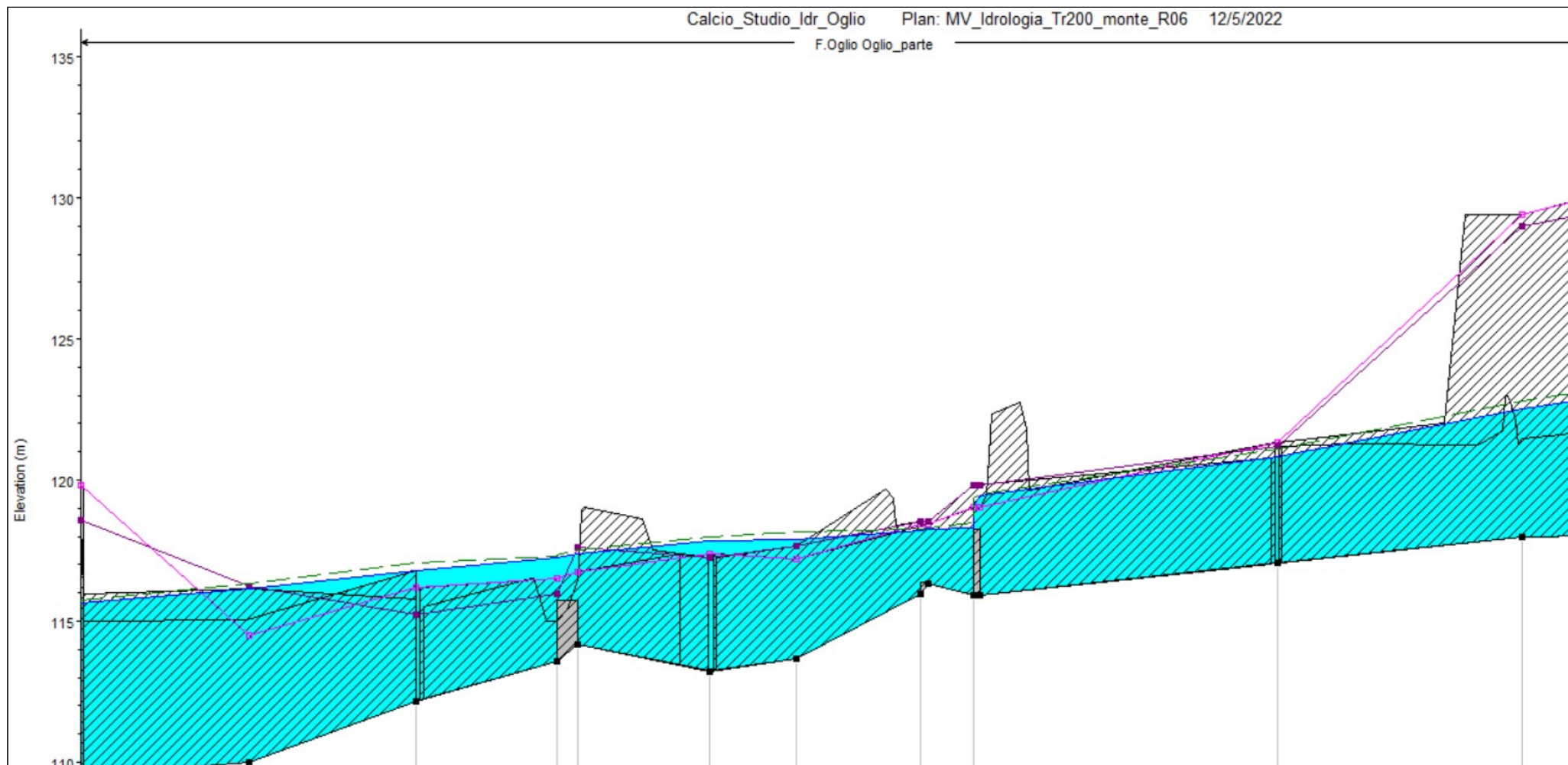


Figura 7.2.2 - Involuppo delle altezze massime della piena con TR 200 nelle sezioni - tratto n.2 (centrale)

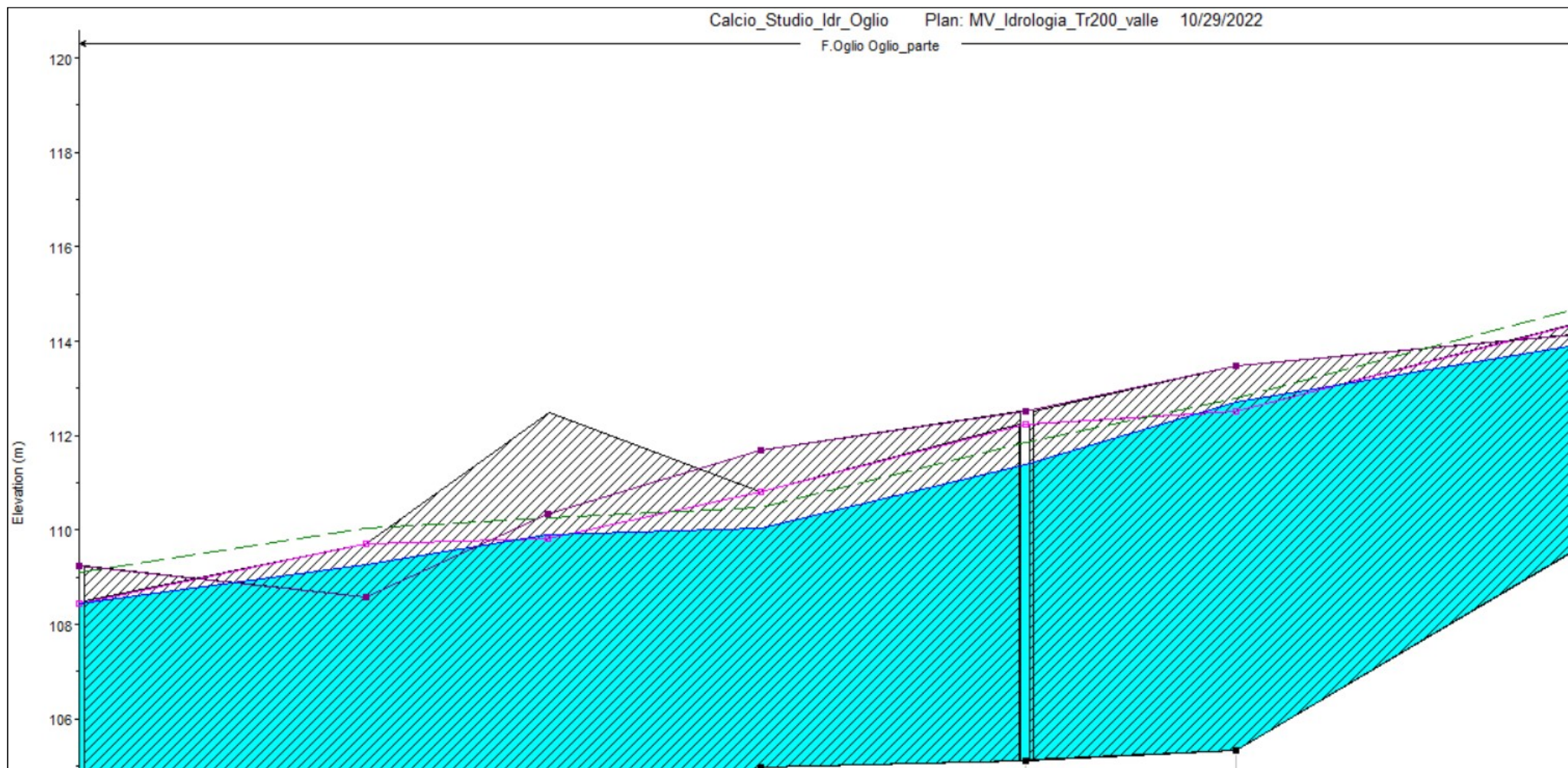
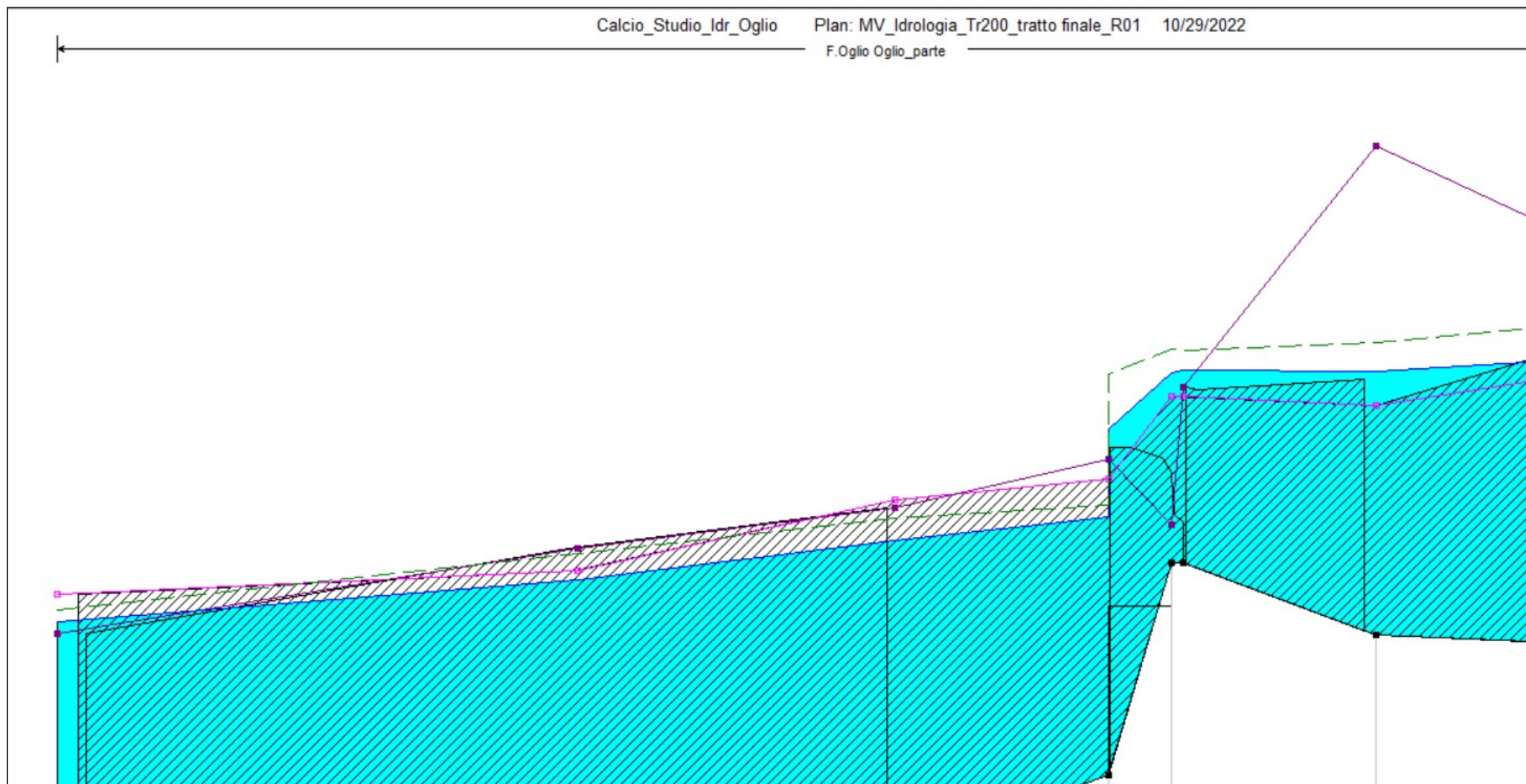
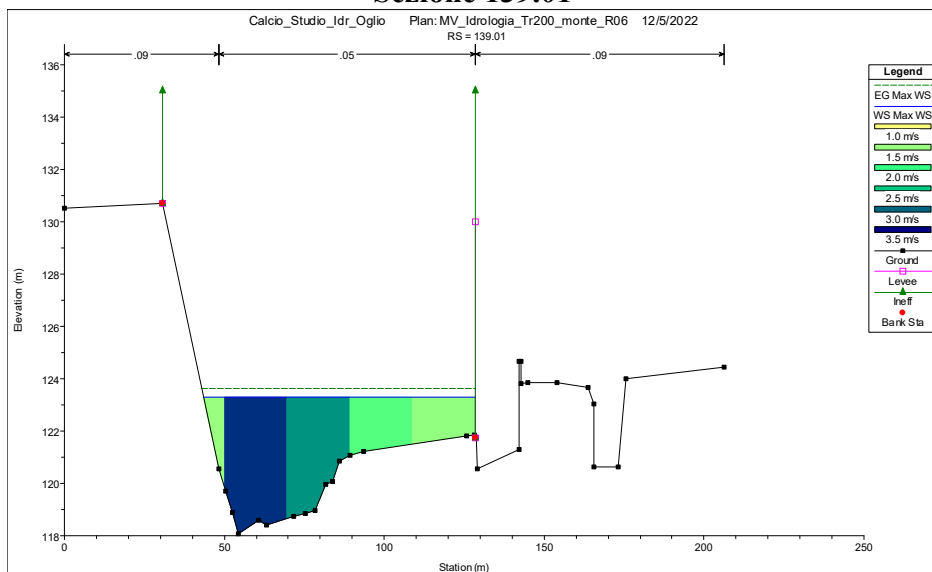


Figura 7.2.3 - Inviluppo delle altezze massime della piena con TR 200 nelle sezioni - tratto n.3 (sud)

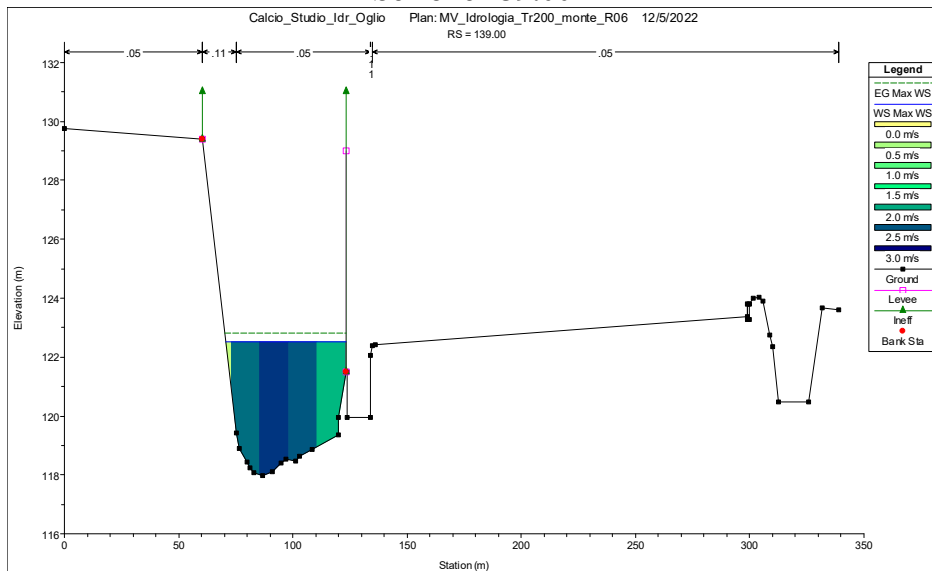


7.3 SEZIONI – Altezze massime della piena con TR200 anni

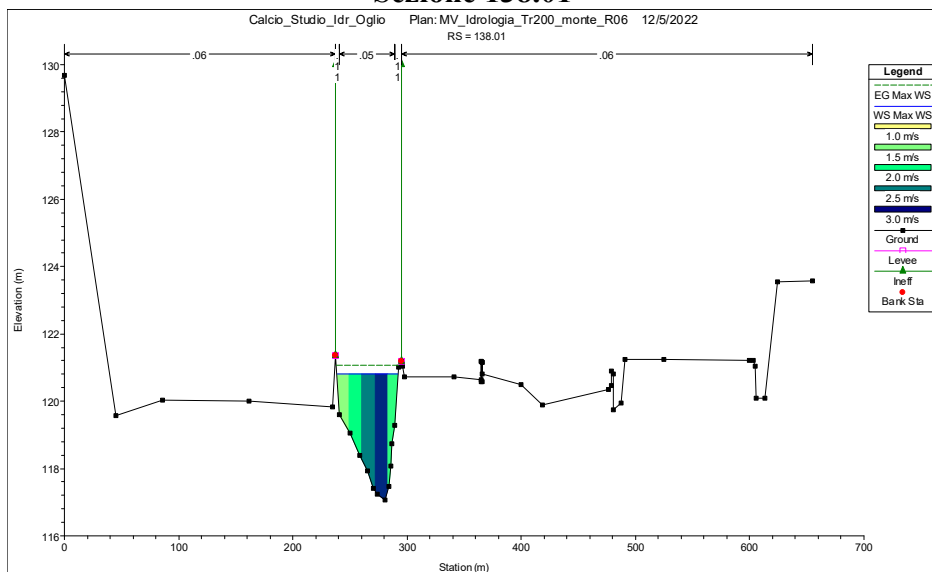
Sezione 139.01



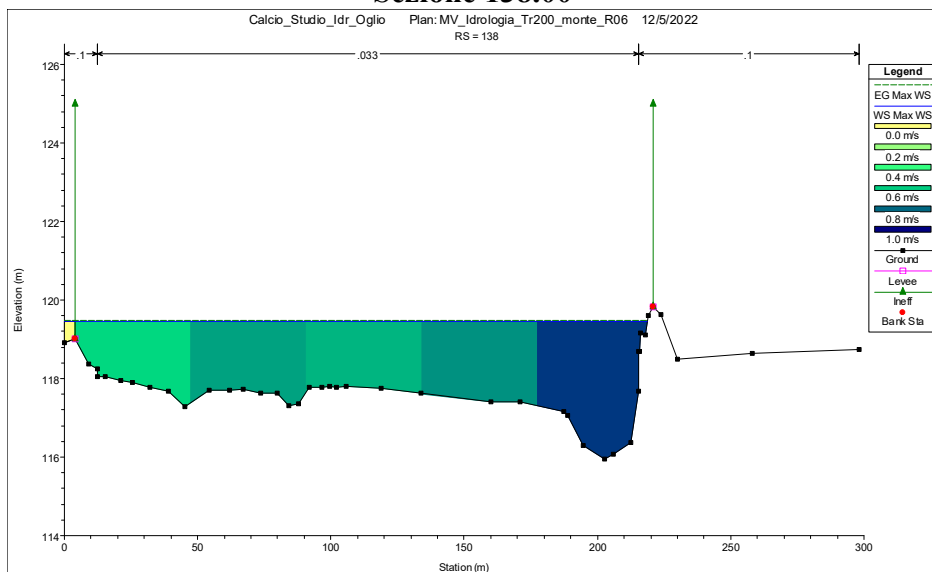
Sezione 139.00



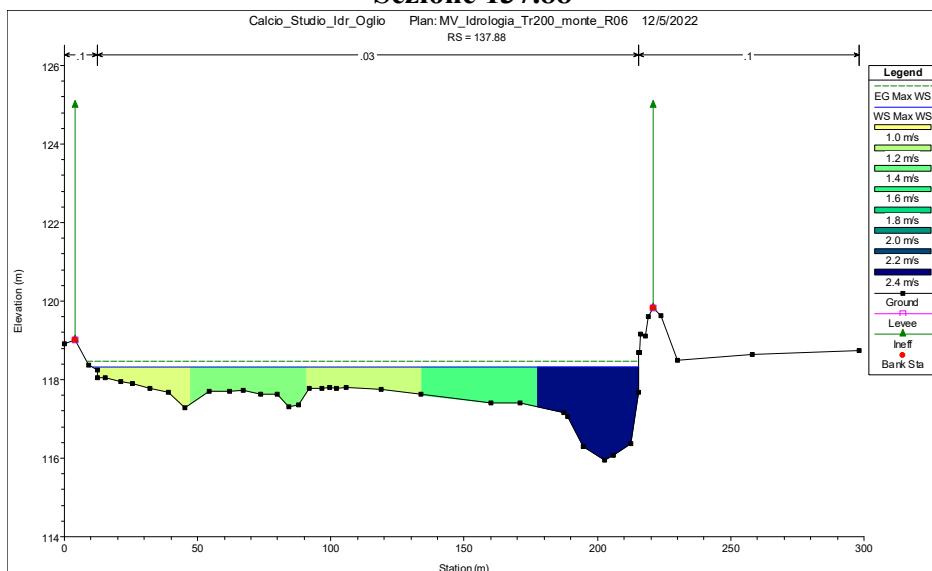
Sezione 138.01



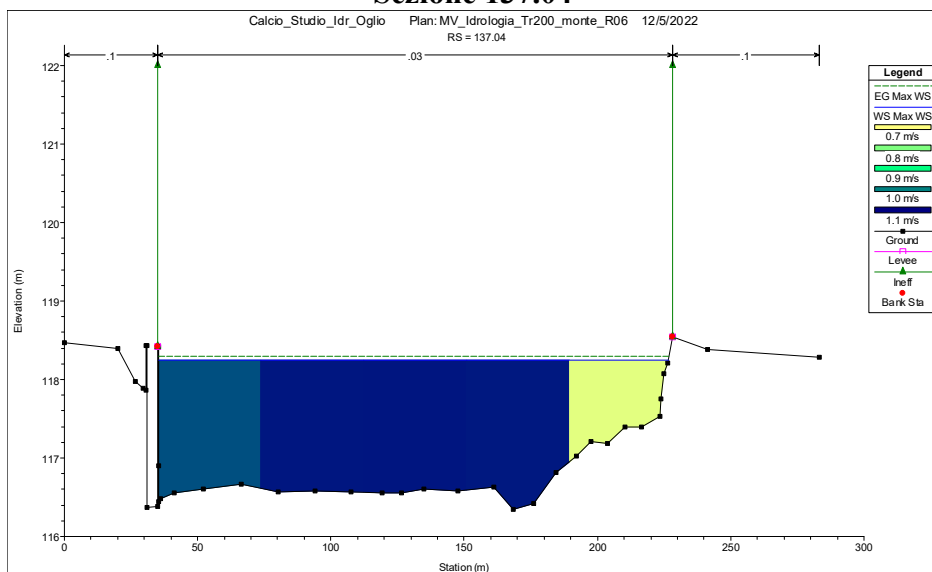
Sezione 138.00



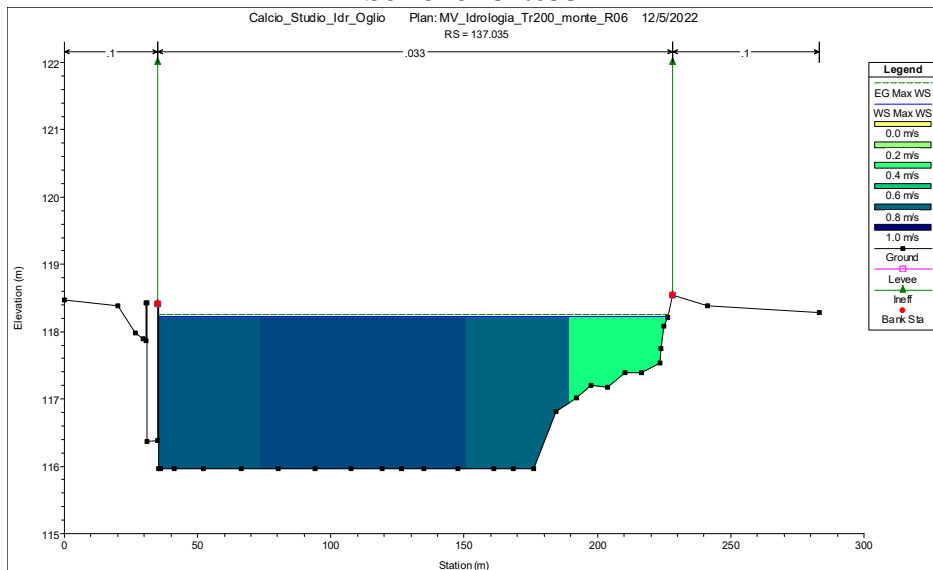
Sezione 137.88



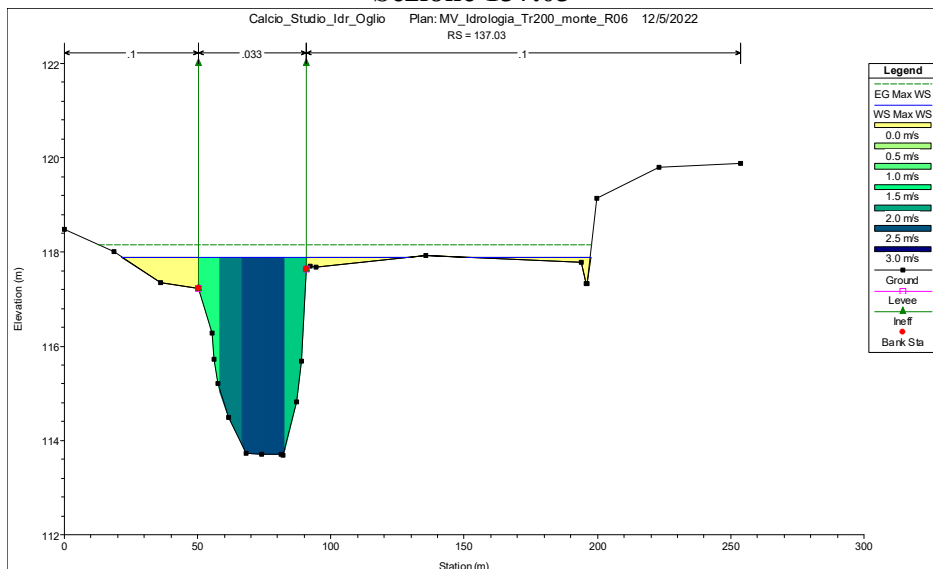
Sezione 137.04



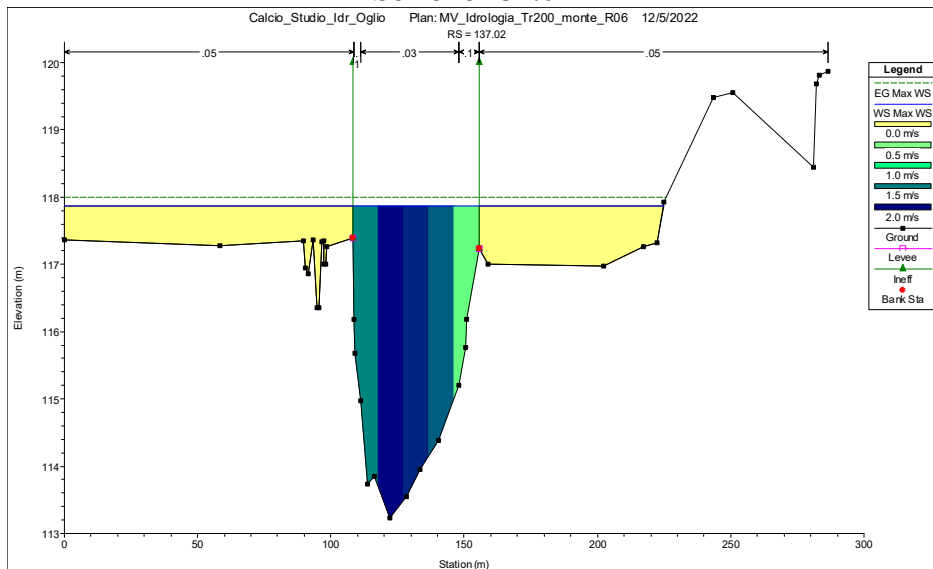
Sezione 137.035



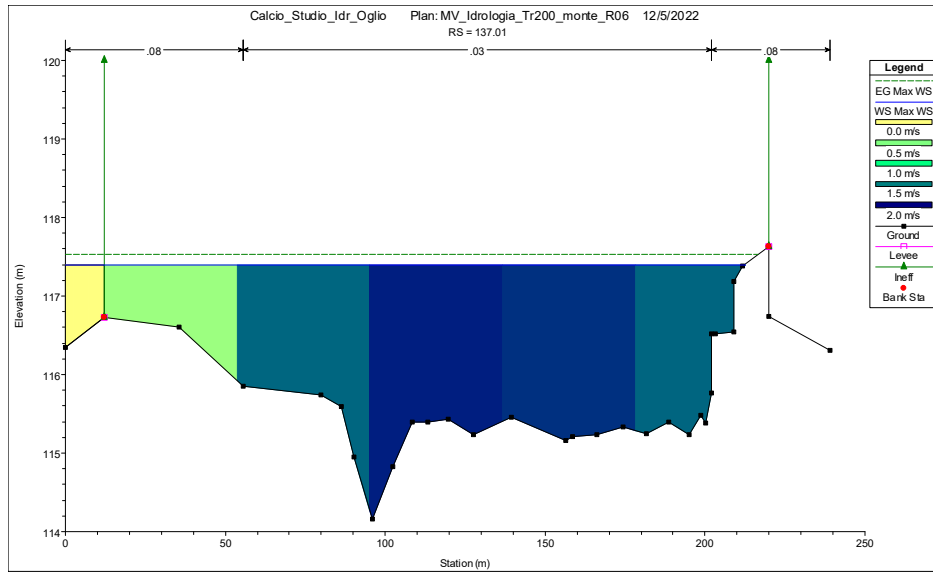
Sezione 137.03



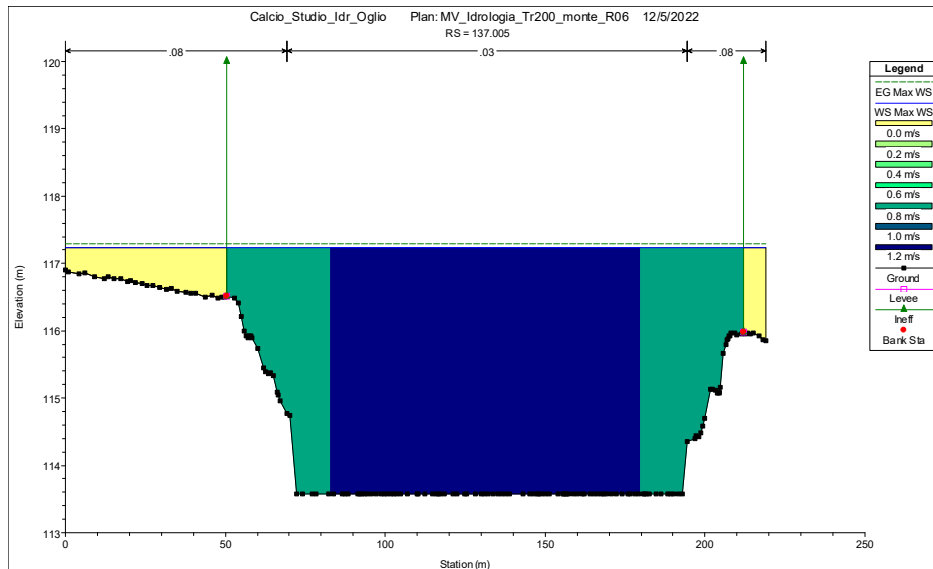
Sezione 137.02



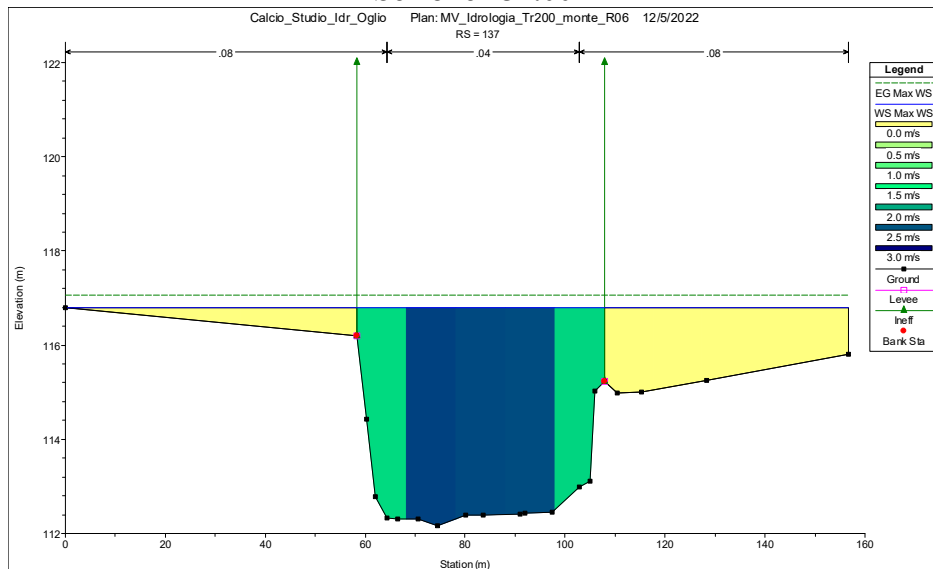
Sezione 137.01



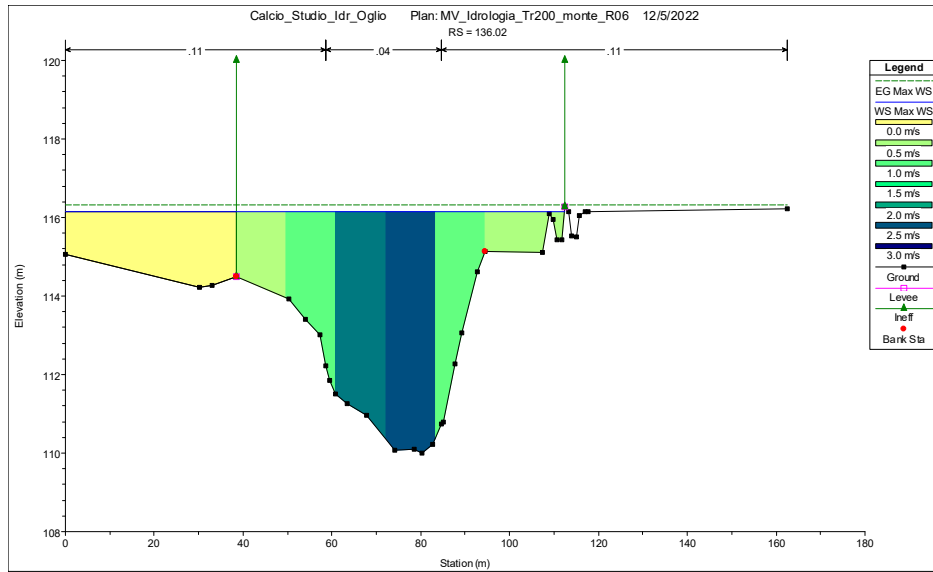
Sezione 137.005



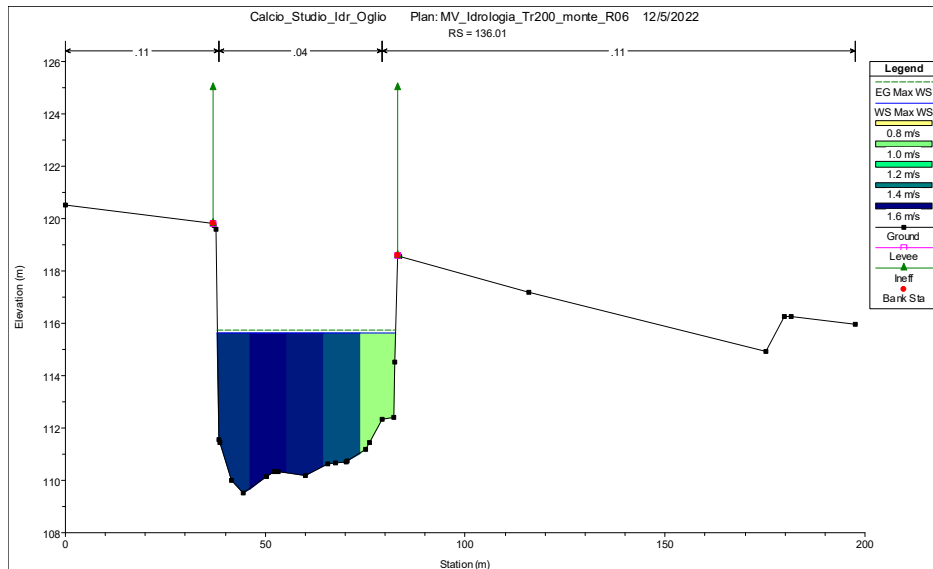
Sezione 137.00



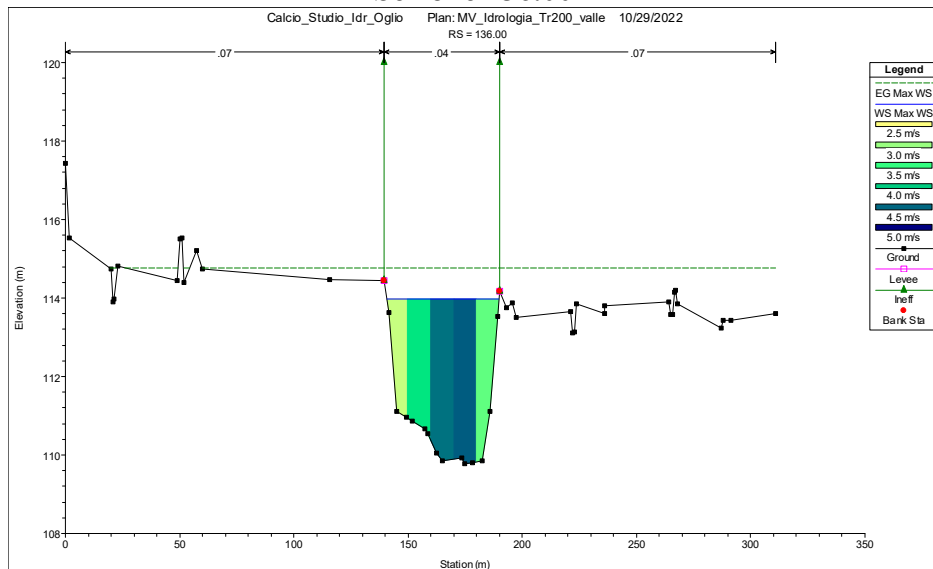
Sezione 136.02



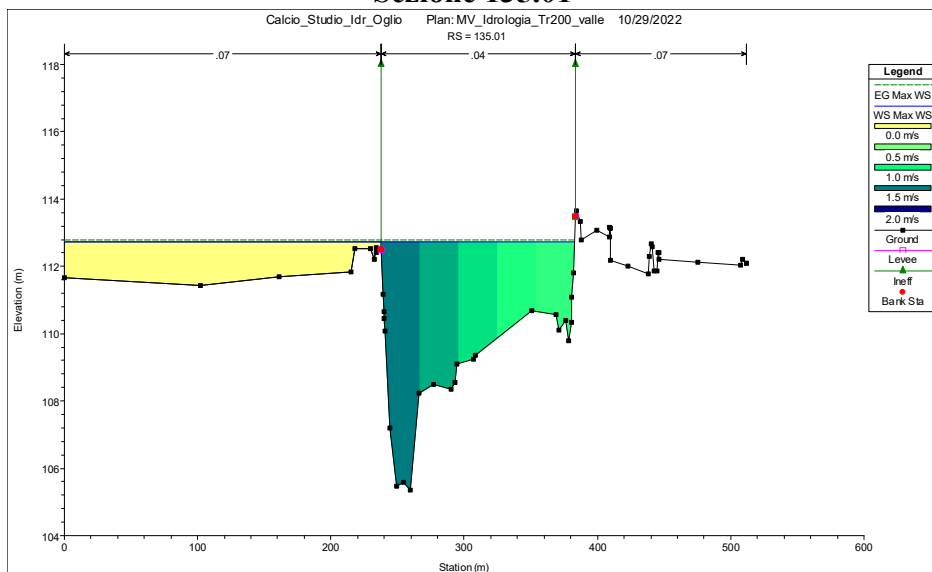
Sezione 136.01



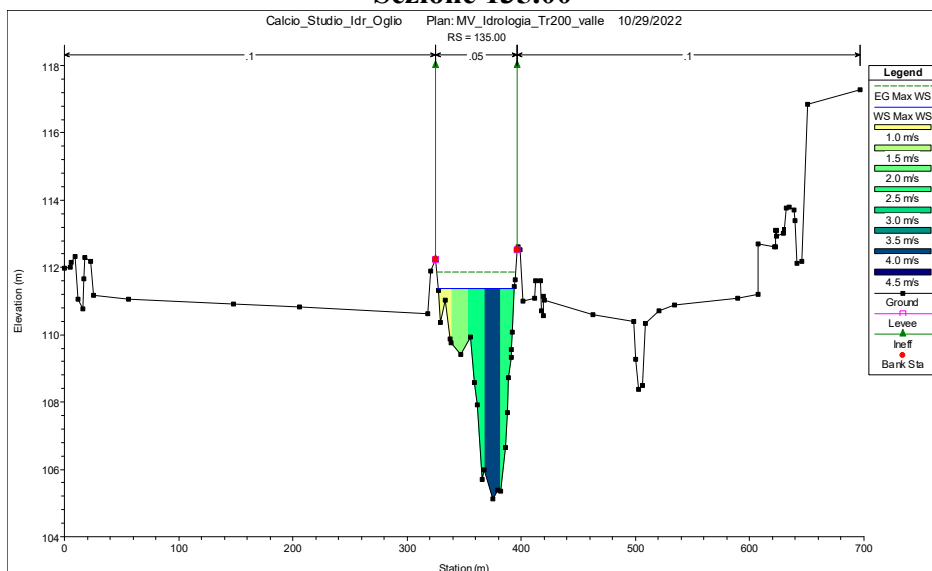
Sezione 136.00



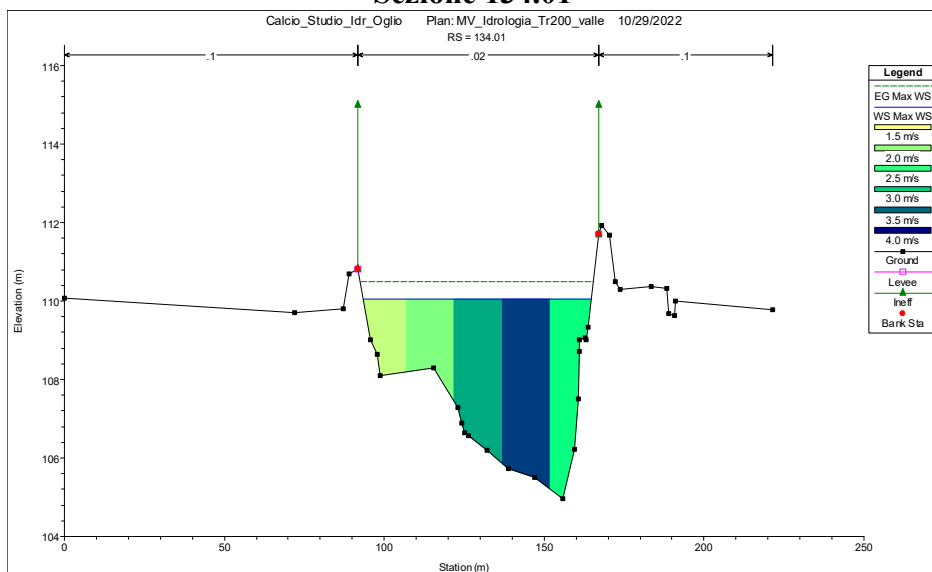
Sezione 135.01



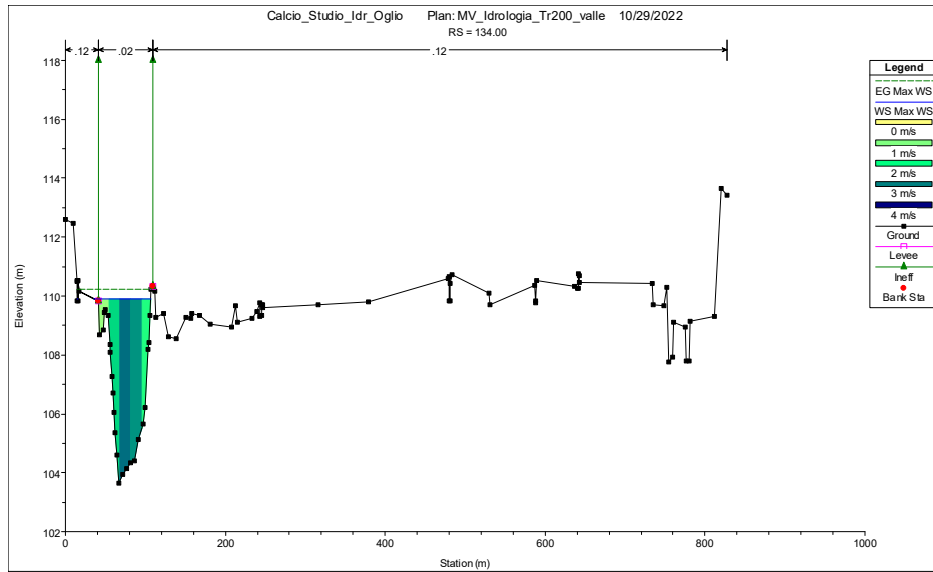
Sezione 135.00



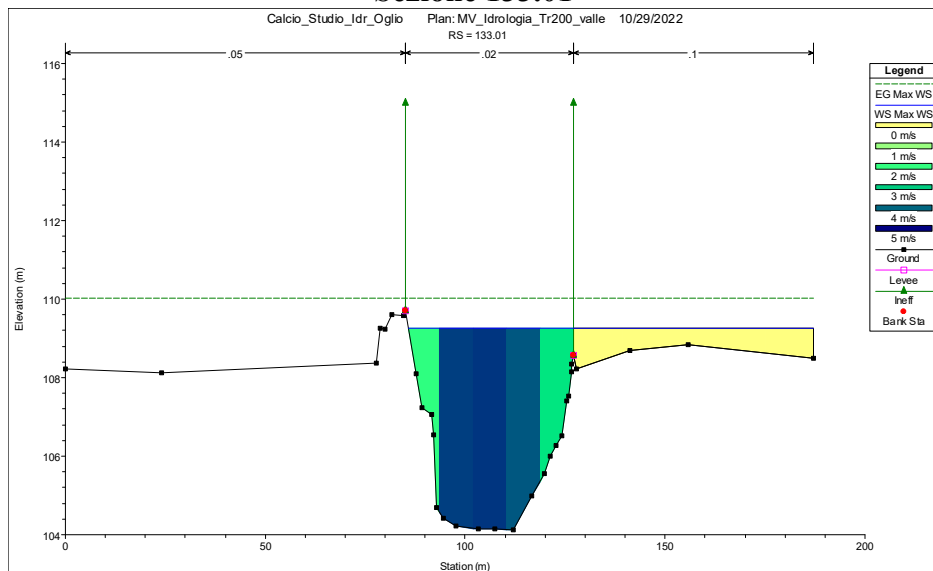
Sezione 134.01



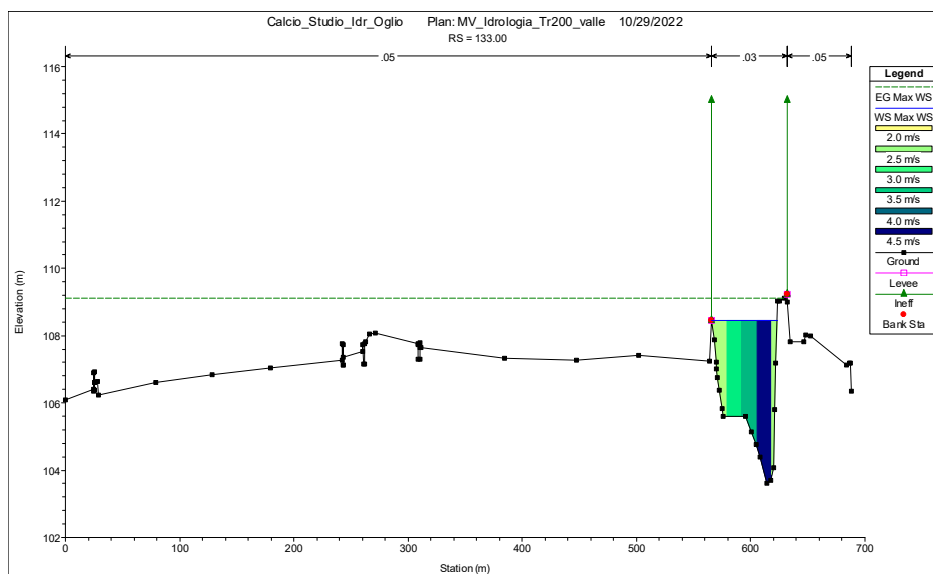
Sezione 134.00



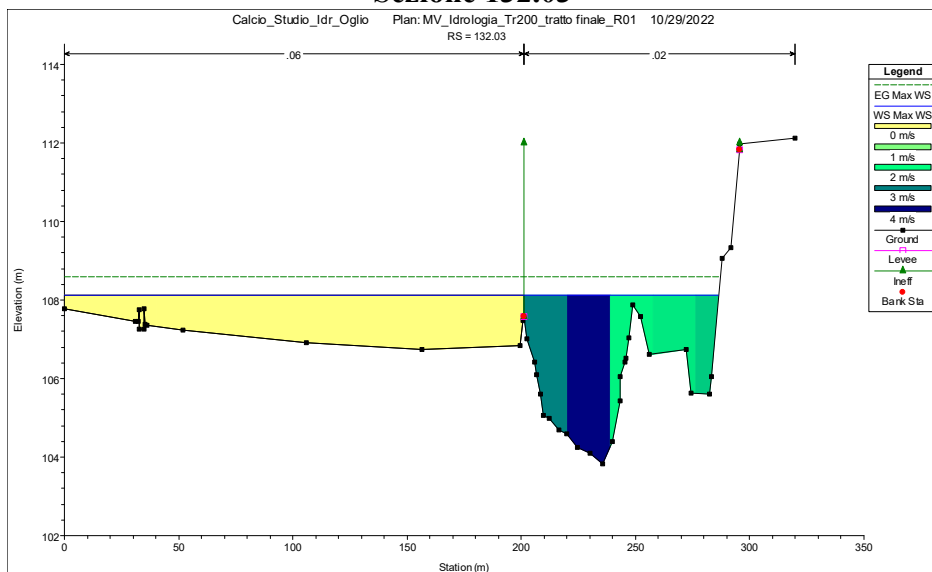
Sezione 133.01



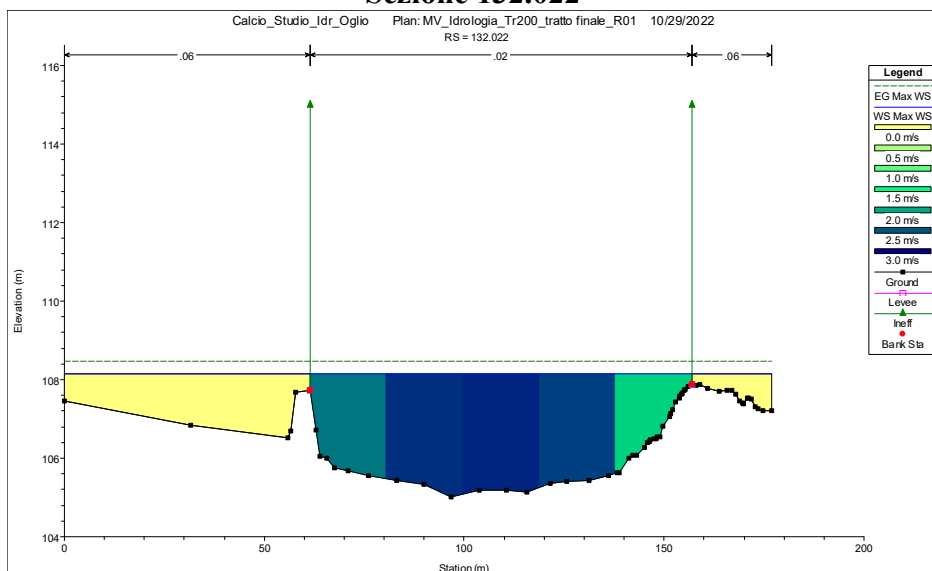
Sezione 133.00



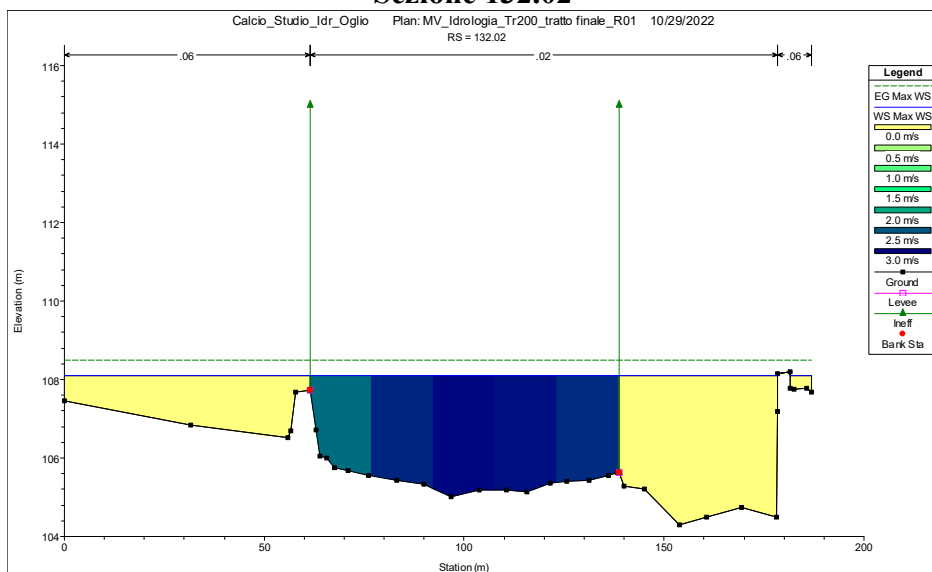
Sezione 132.03



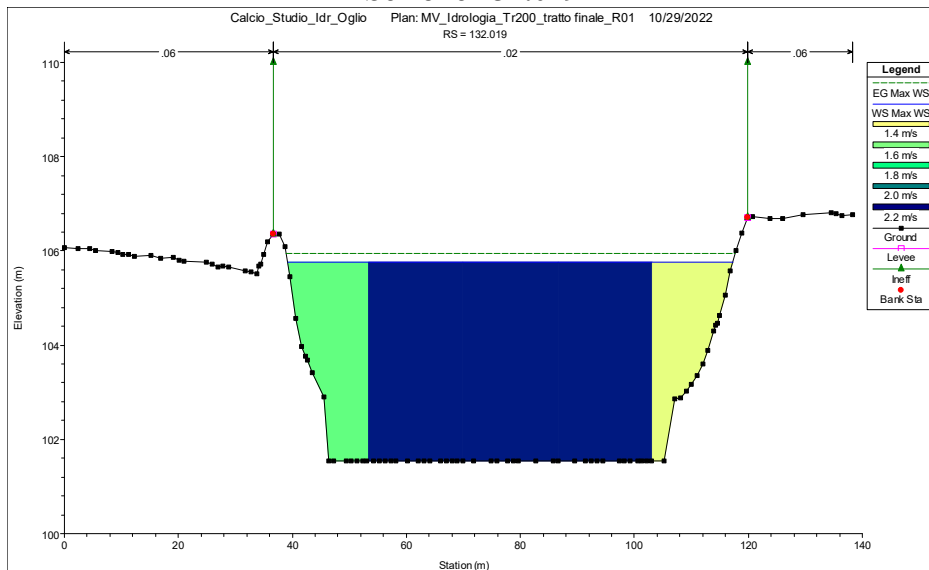
Sezione 132.022



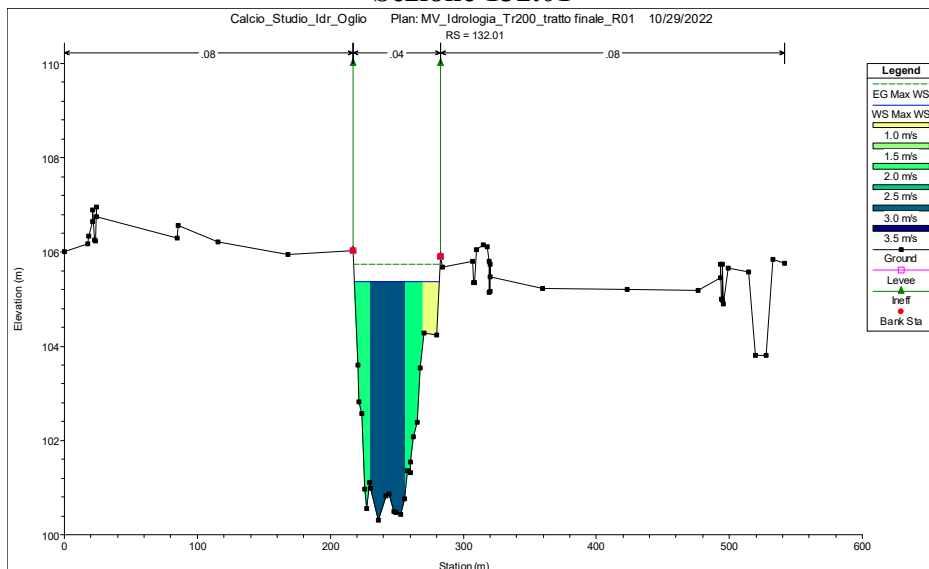
Sezione 132.02



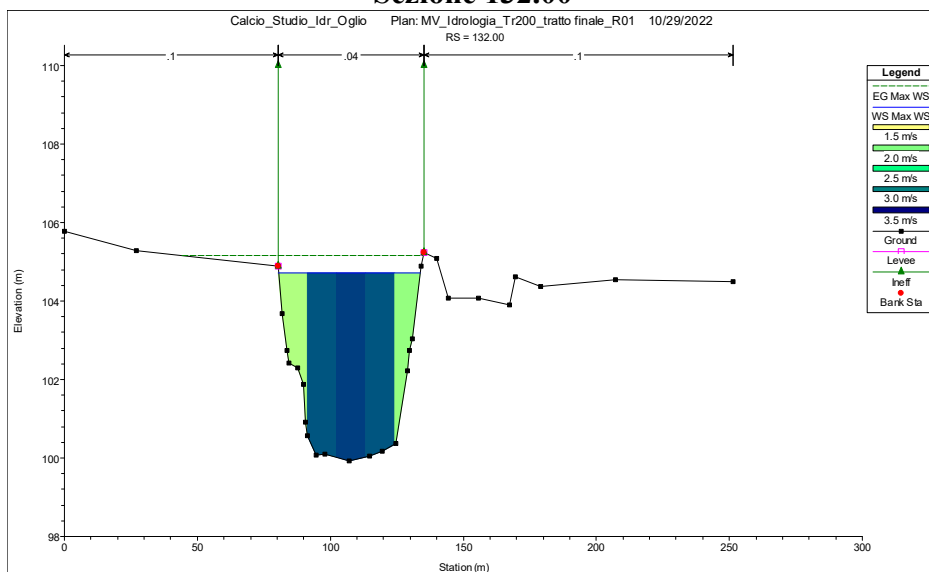
Sezione 132.019



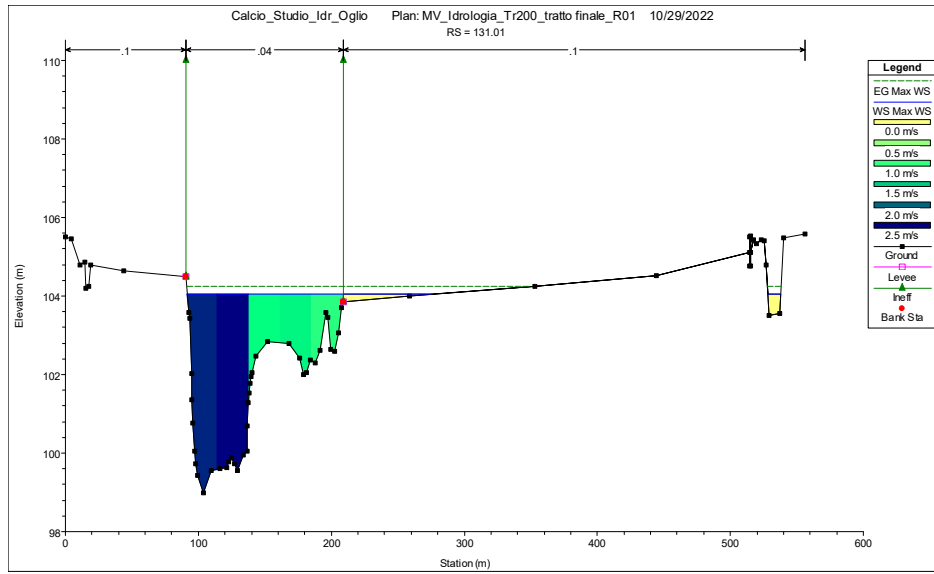
Sezione 132.01



Sezione 132.00

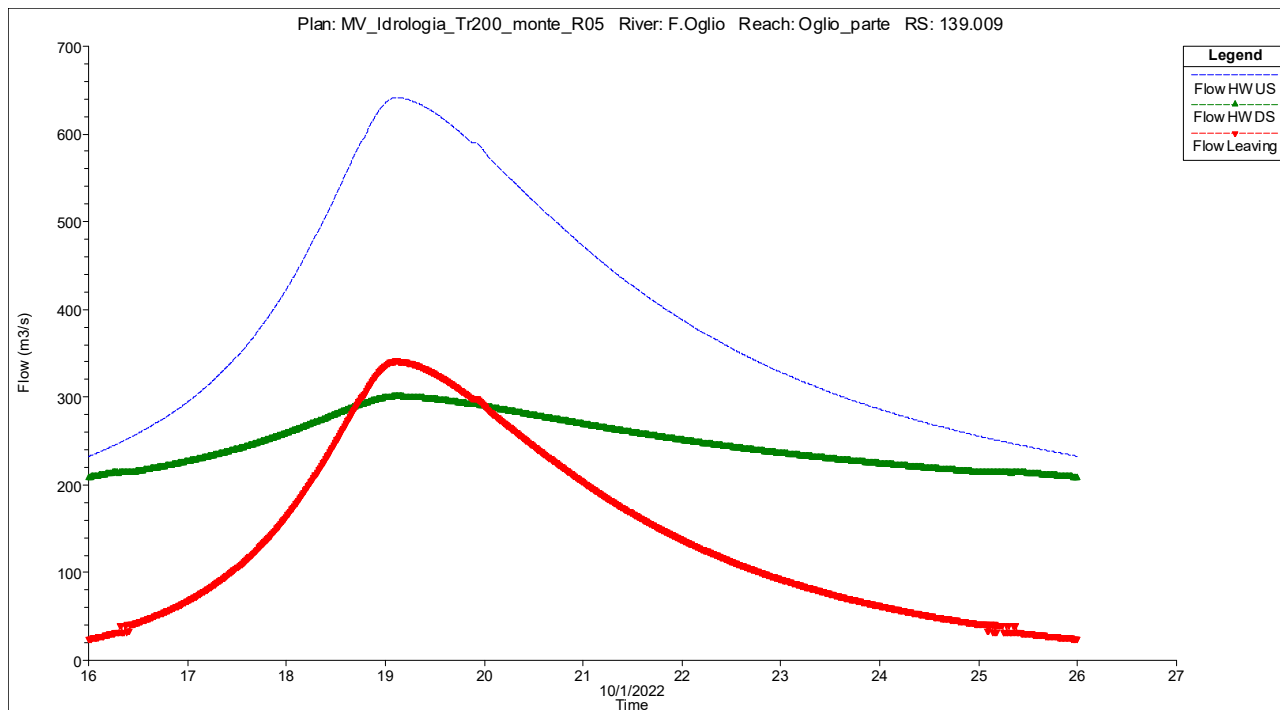


Sezione 131.01



7.4 CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO DEI COLLEGAMENTI IDRAULICI

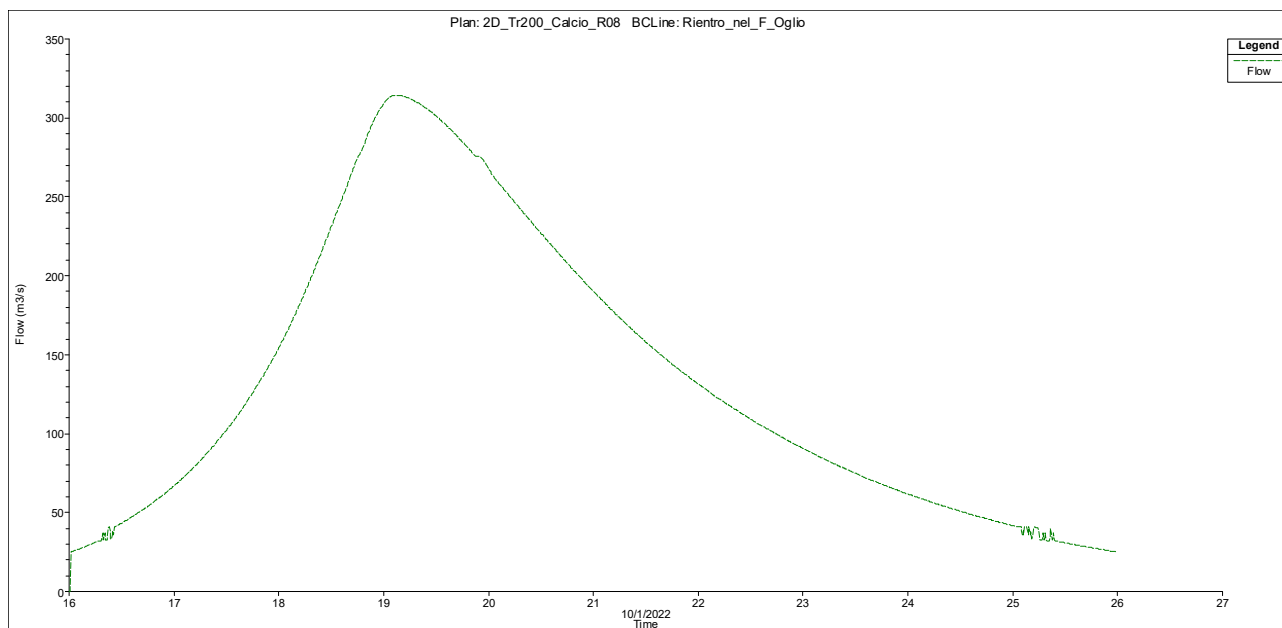
SFIORATORE n139.009 (sponda destra tra sez. 139.01 e sez. 138.01)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 644,48 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 1,1
- Portata massima tracimata 341,54 m³/s
- Portata media tracimata 141,58 m³/s (durata tracimazione 10 giorni)
- Volume totale tracimato 122'391'690 m³
- Portata massima transitata a monte 641,35 m³/s
- Portata massima transitata a valle 299,81 m³/s

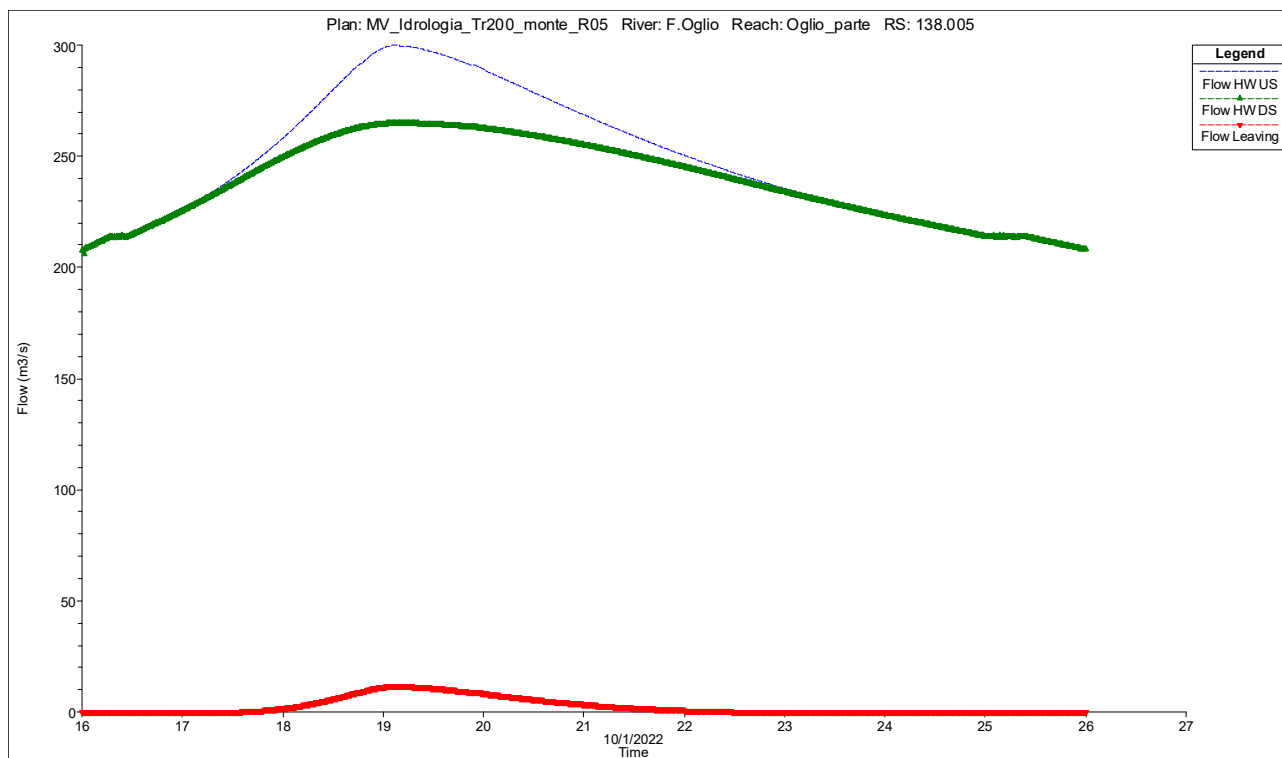
SFIORATORE Rientro nel f. Oglio (sponda destra tra sez. 138,01 e sez. 137.035)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 180,00 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di rientro 0,01
- Portata massima rientrata 314,35 m³/s
- Portata media rientrata 133,14 m³/s
- Volume totale rientrato 115'103'060 m³

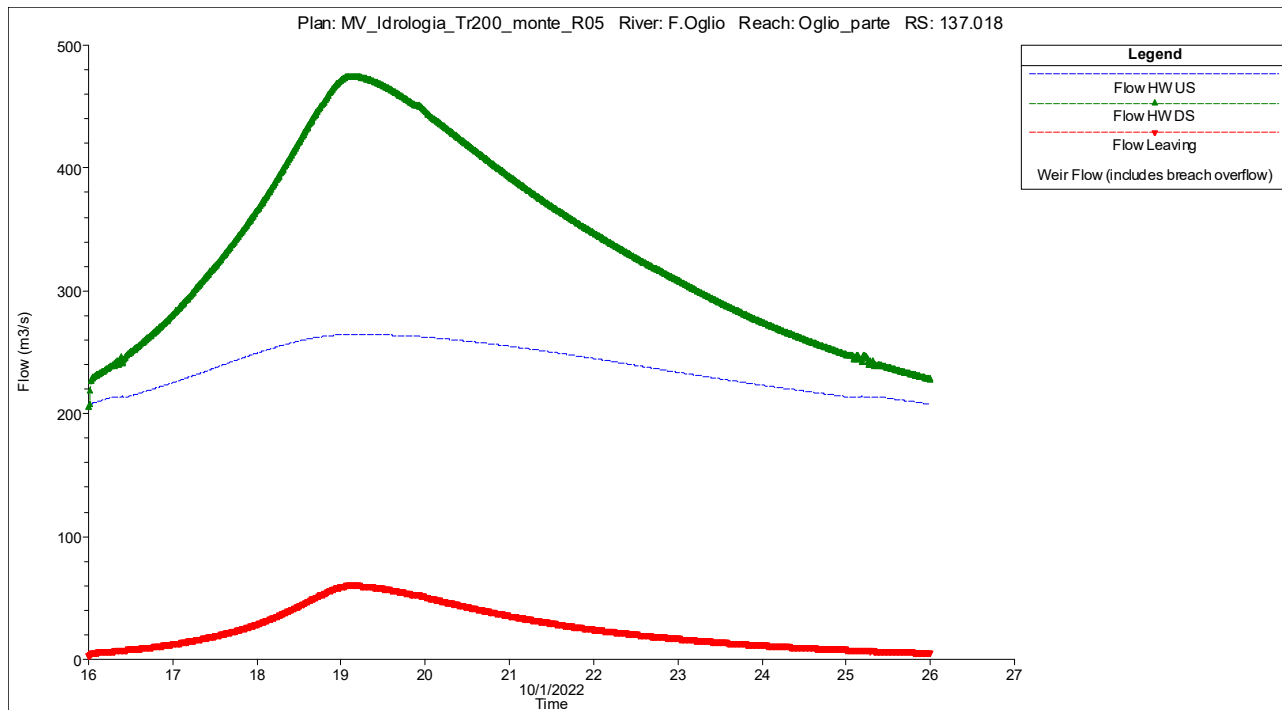
SFIORATORE n. 138.005 (sponda destra tra sez. 137,03 e sez. 137.02)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 136,24 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,3
- Portata massima tracimata 11,74 m³/s
- Portata media tracimata 2,52 m³/s (durata tracimazione giorni 5 e 22,20 ore)
- Volume totale tracimato 2'183'100 m³
- Portata massima transitata a monte 546.19 m³/s
- Portata massima transitata a valle 534.45 m³/s

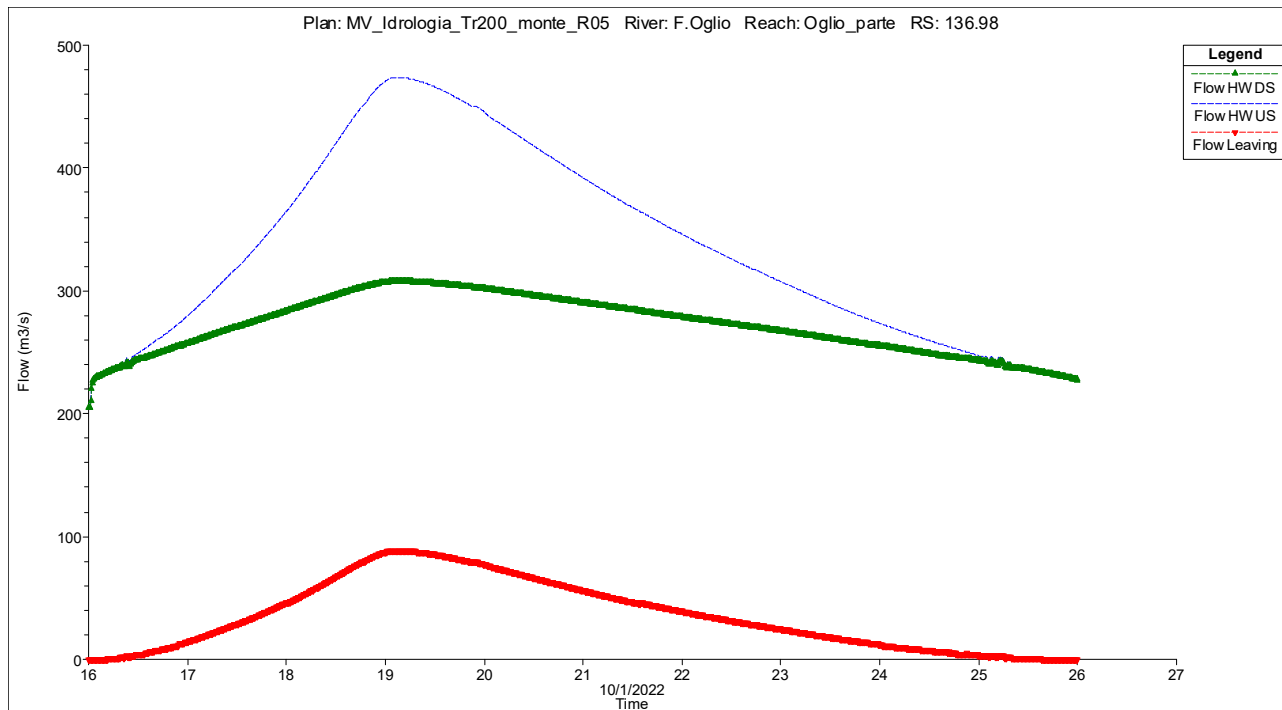
SFIORATORE n. 137.018 (sponda destra tra sez. 137.005 e sez. 137.00)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 77,54 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,3
- Portata massima tracimata 60,57 m³/s
- Portata media tracimata 25,46 m³/s (durata tracimazione 240 ore)
- Volume totale tracimato 22'010'850 m³
- Portata massima transitata a monte 534.45 m³/s
- Portata massima transitata a valle 473.88 m³/s

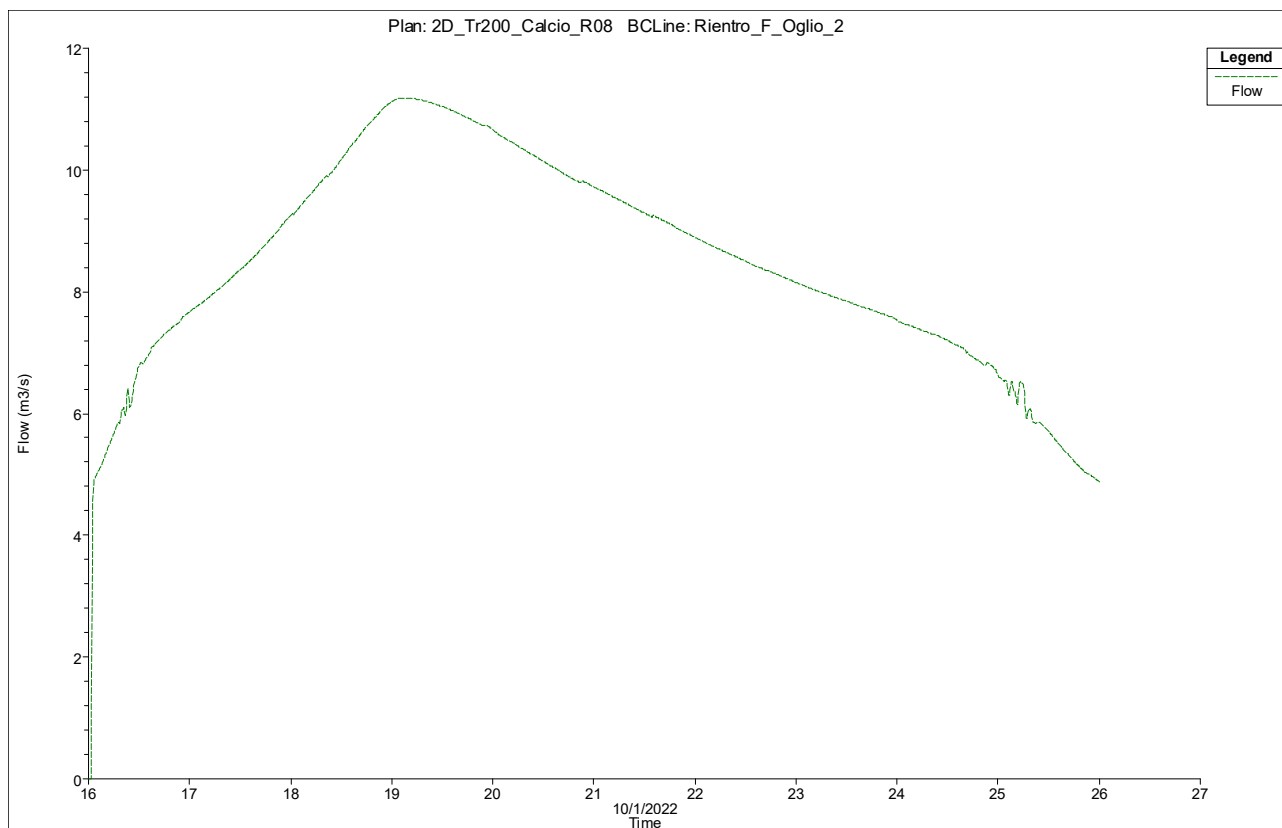
SFIORATORE n. 136.98 (sponda destra tra sez. 137.00 e sez. 136.01)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 569.94 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,3
- Portata massima tracimata 88,92 m³/s
- Portata media tracimata 35,98 m³/s (durata tracimazione ore 234)
- Volume totale tracimato 31'107'250 m³
- Portata massima transitata a monte 473,88 m³/s
- Portata massima transitata a valle 307,28 m³/s

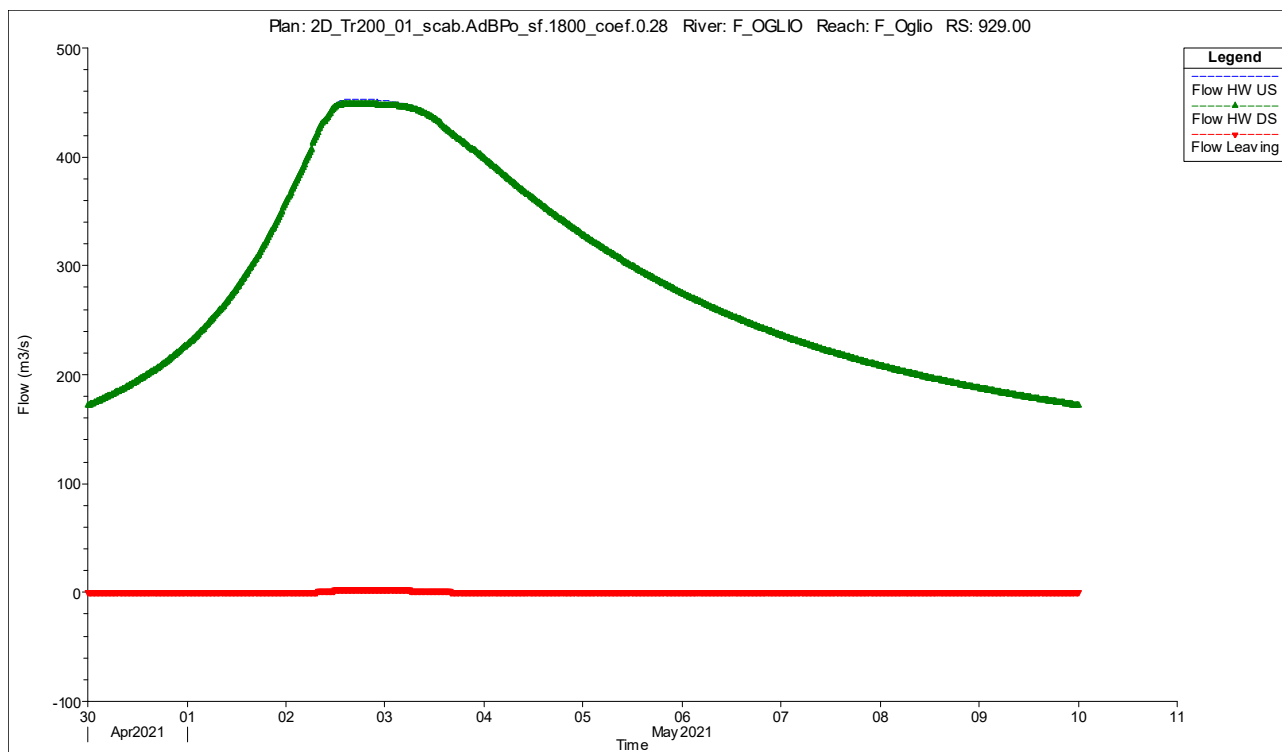
SFIORATORE Rientro nel f. Oglio (sponda destra a monte ponte SS 11 Padana Superiore)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 10 m
- Coefficiente di rientro 0,001
- Portata massima rientrata 11,18 m³/s
- Portata media transitata 8,45 m³/s (durata rientro ore 23:20)
- Volume totale transitato 7'307'360 m³

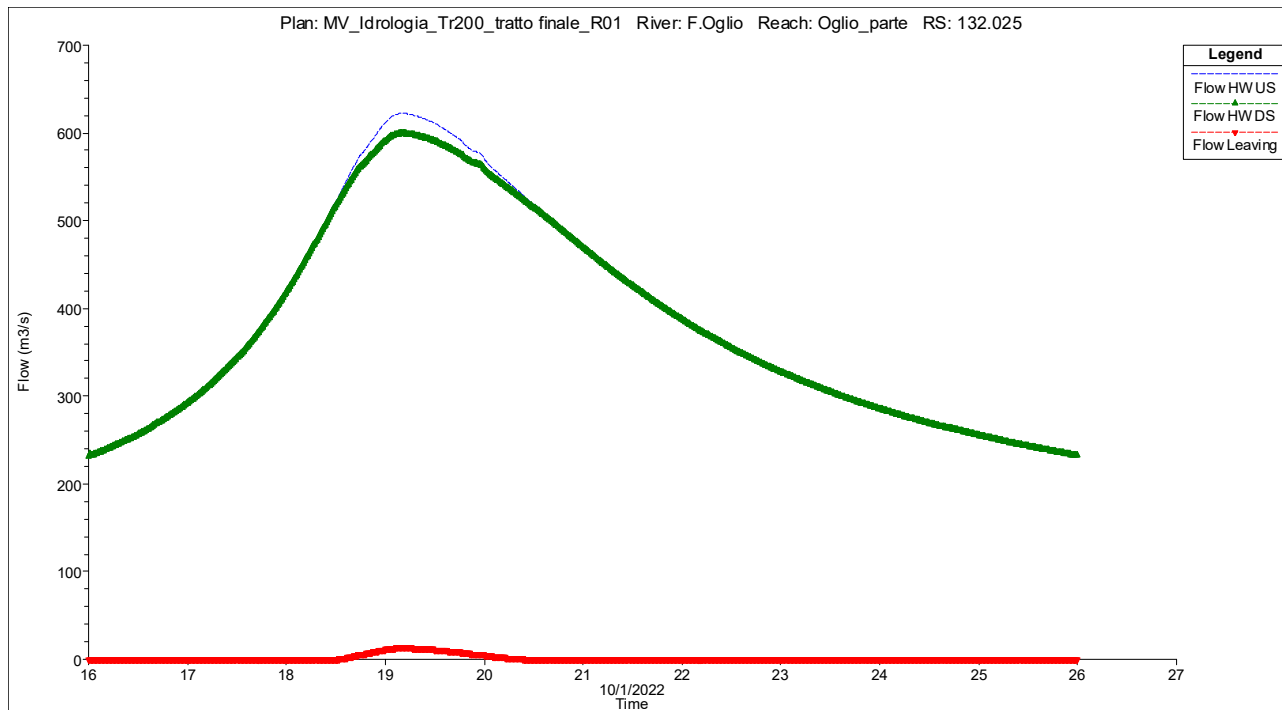
SFIORATORE n. 134.50 (sponda destra tra sez. 135 e sez. 133)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 1538,60 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,13
- Portata massima tracimata 11,73 m³/s
- Portata media tracimata 1,55 m³/s (durata tracimazione ore 84)
- Volume totale tracimato 1'341'050 m³
- Portata massima transitata a monte 636,80 m³/s
- Portata massima transitata a valle 625,06 m³/s

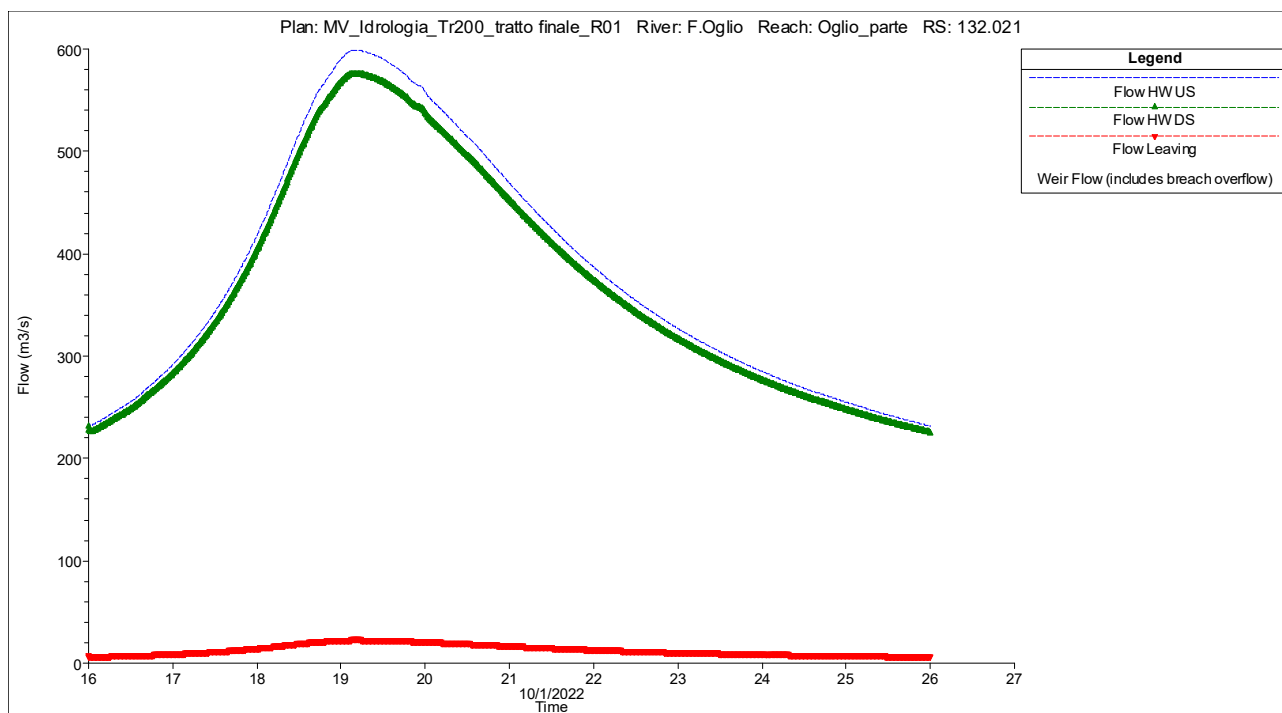
SFIORATORE n. 132.05 (sponda destra tra sez. 132.03 e sez. 132.022)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 248.08 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,5
- Portata massima tracimata 13,41 m³/s
- Portata media tracimata 1,46 m³/s (durata tracimazione ore 53)
- Volume totale tracimato 1'261'140 m³
- Portata massima transitata a monte 622,19 m³/s
- Portata massima transitata a valle 598,74 m³/s

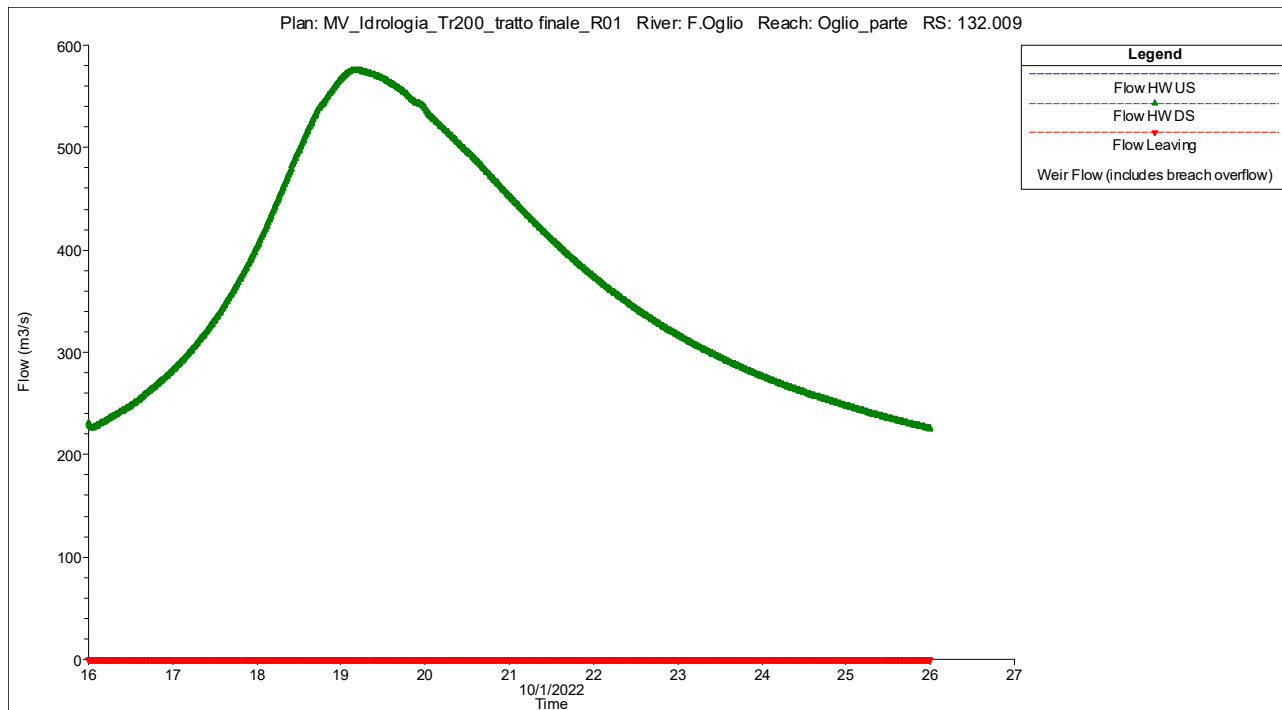
SFIORATORE n. 132,021 (sponda destra tra sez. 132.02 e sez. 132.019 – derivazione Naviglio Pallavicini)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 48.44 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,3
- Portata massima derivata 23,25 m³/s
- Portata media derivata 13,41 m³/s (durata derivazione 240 ore)
- Volume totale derivato 11'589,710 m³
- Portata massima transitata a monte 598,74 m³/s
- Portata massima transitata a valle 575,23 m³/s

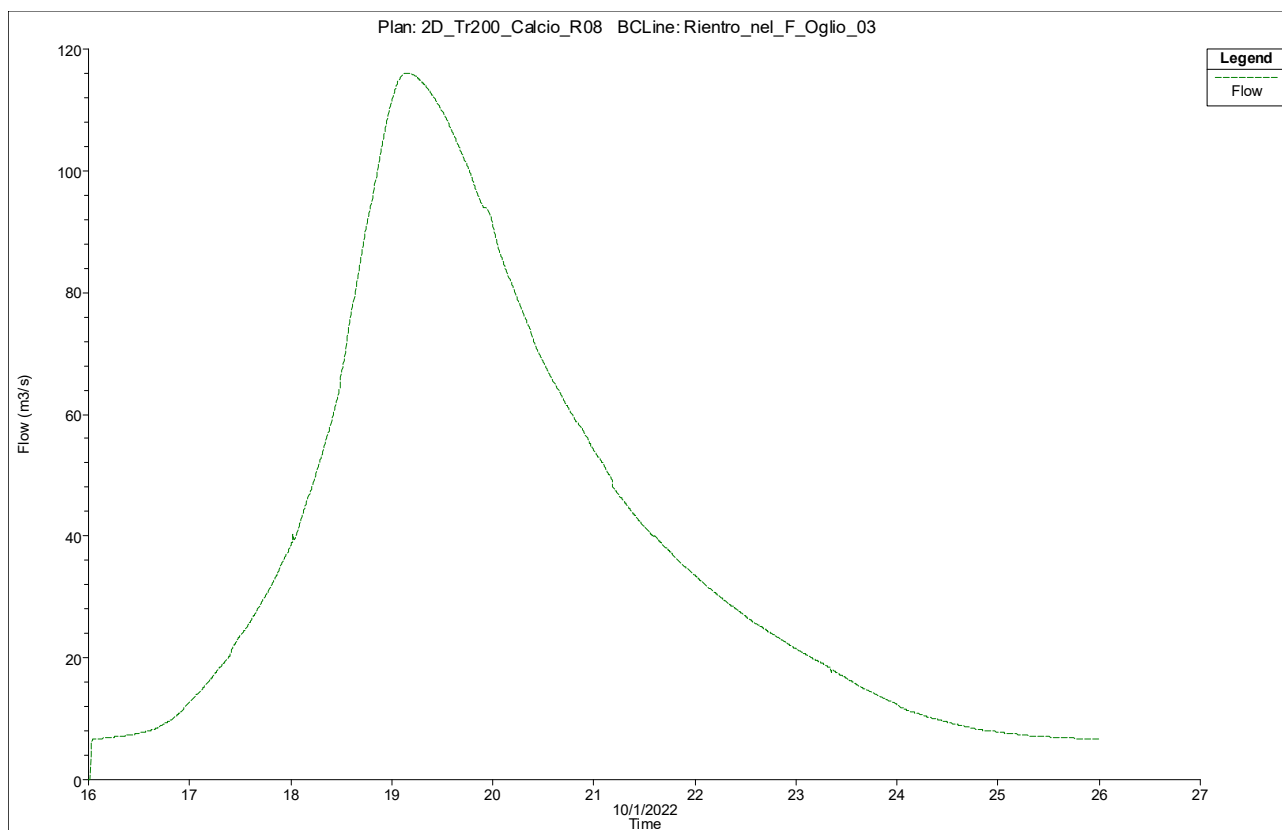
SFIORATORE n. 132.009 (sponda destra tra sez. 132.01e sez. 131.01)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 537.30 m
- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Coefficiente di efflusso 0,13
- Portata massima tracimata 0,47 m³/s
- Portata media tracimata 0,04 m³/s (durata tracimazione ore 42:30)
- Volume totale tracimato 35'610,00 m³
- Portata massima transitata a monte 575,23 m³/s
- Portata massima transitata a valle 574,75m³/s

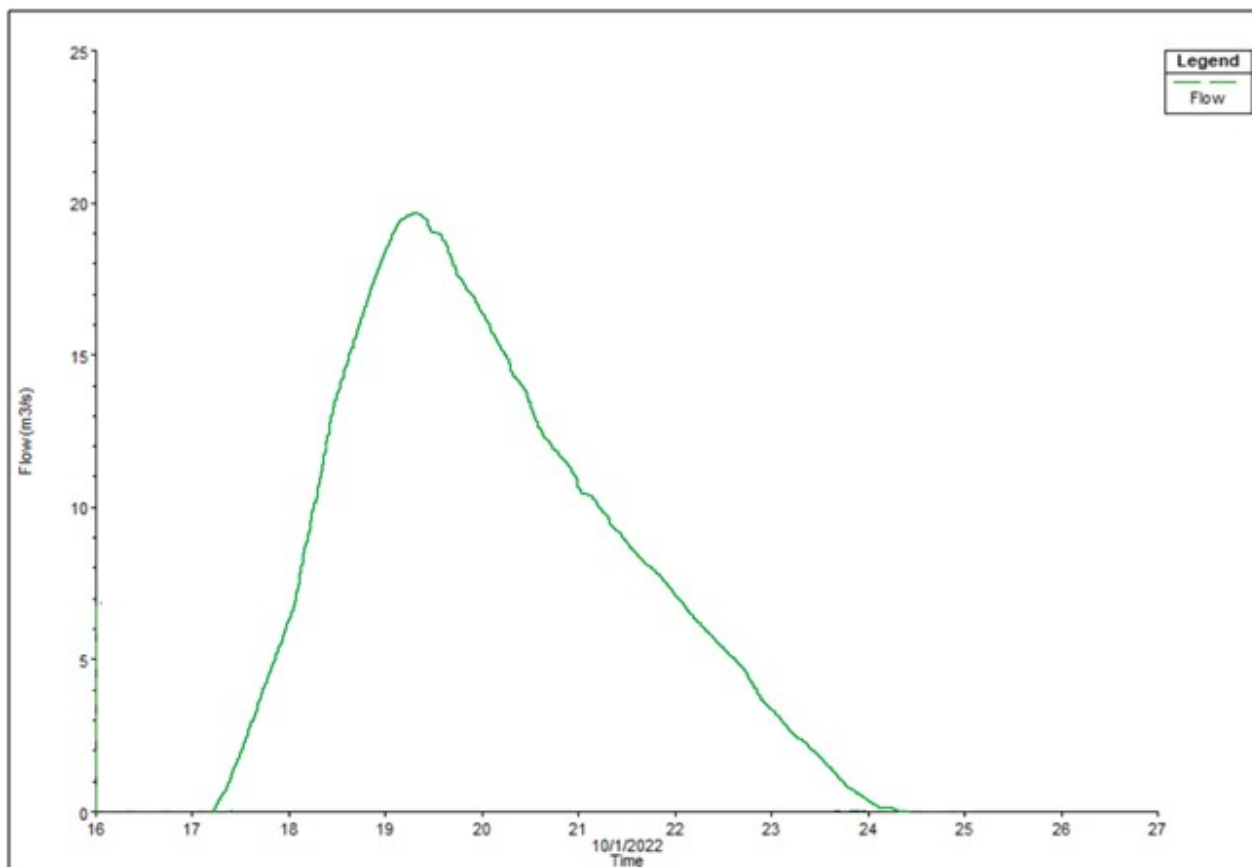
SFIORATORE Rientro nel f. Oglio (sponda destra a valle sez. 131.01 – scaricatore Naviglio Pallavicini)



Dati sfioratore:

- Lunghezza 35 m
- Coefficiente di rientro 0,01
- Portata massima transitata 116,07 m³/s
- Portata media transitata 38,25 m³/s (durata rientro ore 23:30)
- Volume totale transitato 33'068'034 m³

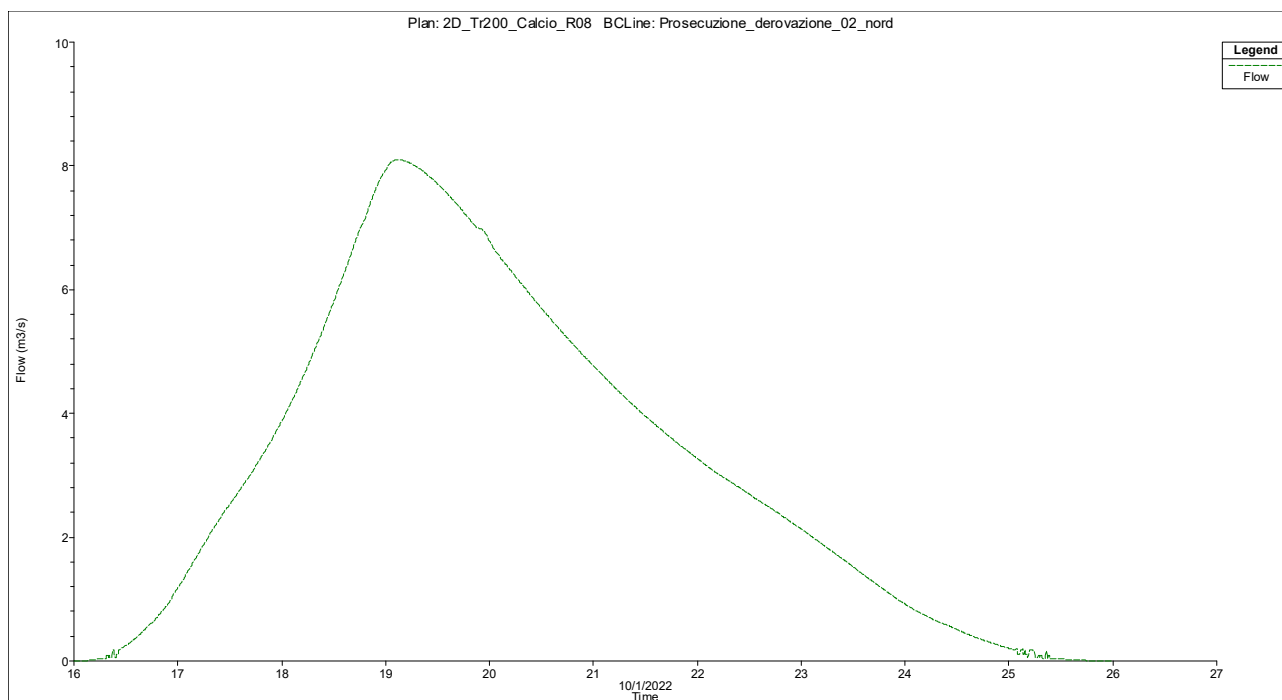
BC Line "SA_2D_01" collegata all'area 2D per scorrimento fuori programma del Naviglio Civico di Cremona



Dati BC Line:

- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Condizione al contorno pendenza terreno $i = 0,01$ m/m
- Portata massima transitata $19,61 \text{ m}^3/\text{s}$
- Portata media transitata $4,90 \text{ m}^3/\text{s}$
- Volume totale transitato $4'238'210,00 \text{ m}^3$

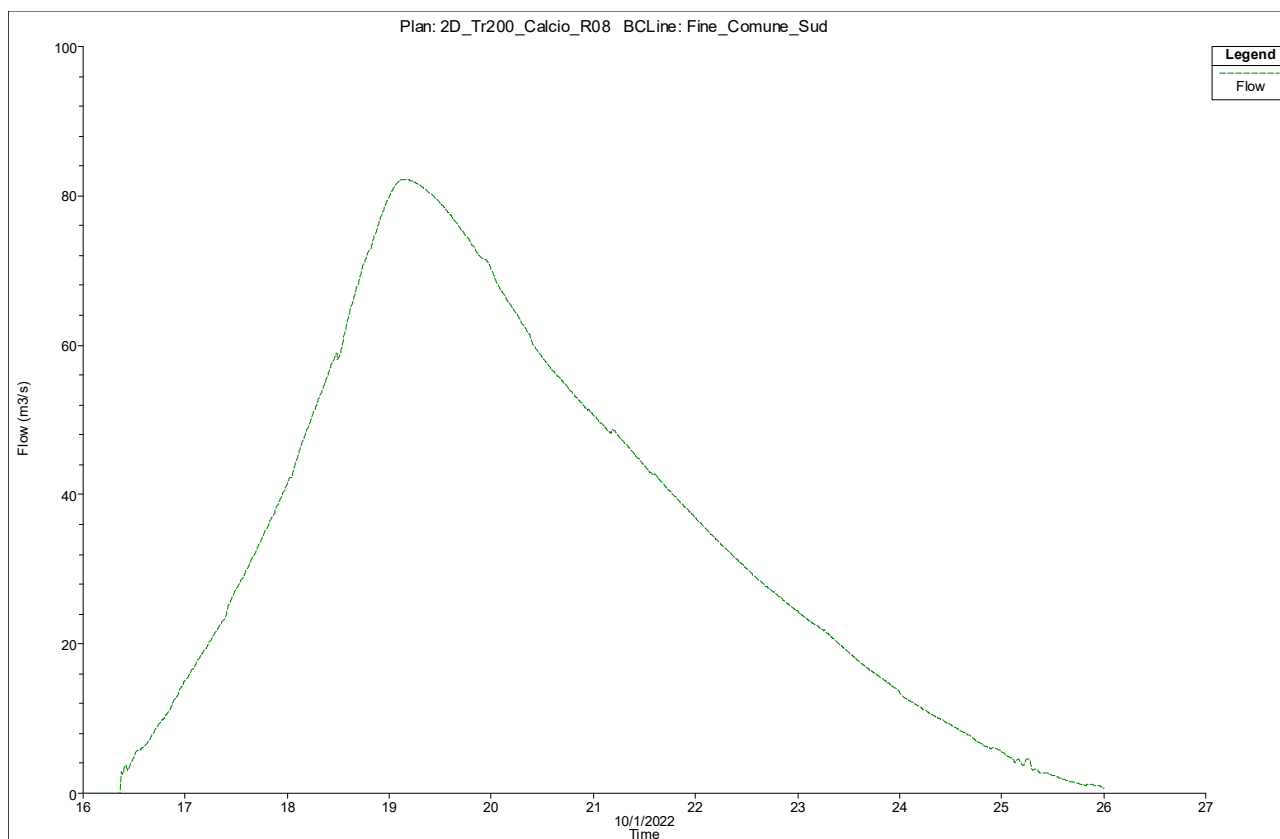
BC Line "SA_2D_02" collegata all'area 2D per scorrimento fuori programma della Roggia Antegnata



Dati BC Line:

- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Condizione al contorno pendenza terreno $i = 0,0039$ m/m
- Portata massima transitata $8,10$ m³/s
- Portata media transitata $3,08$ m³/s
- Volume totale transitato $2'665'550,00$ m³

BC Line "SA_2D_03" collegata all'area 2D in lato sud per scorrimento fuori programma al limite del confine Comunale

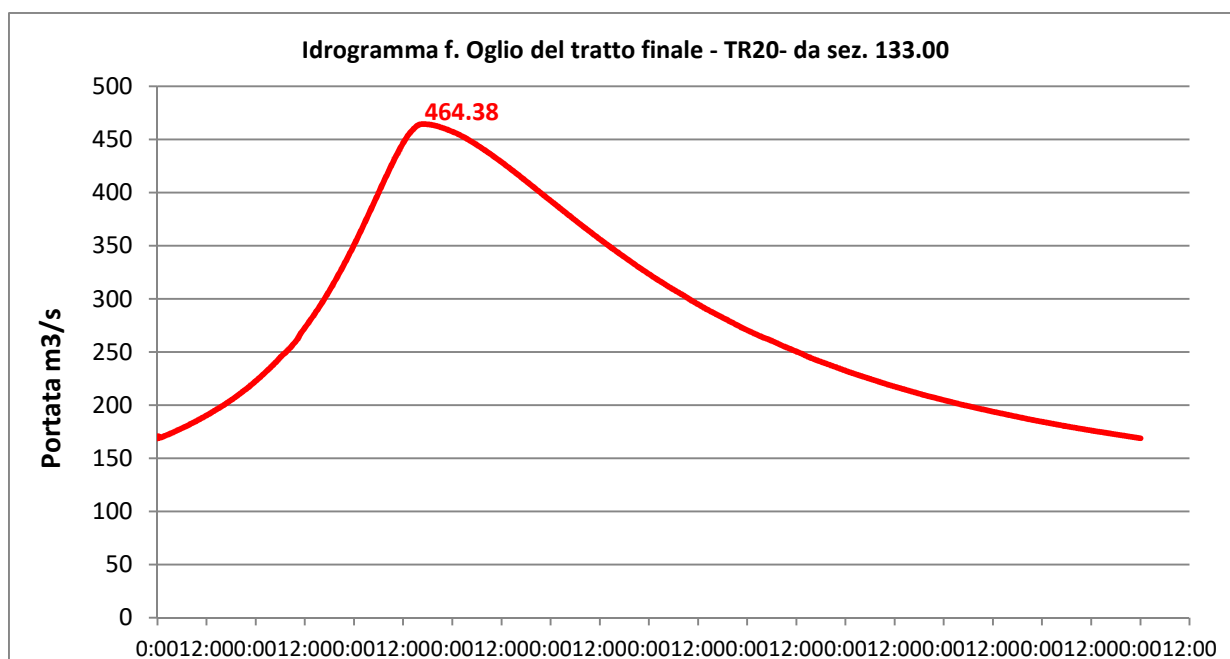
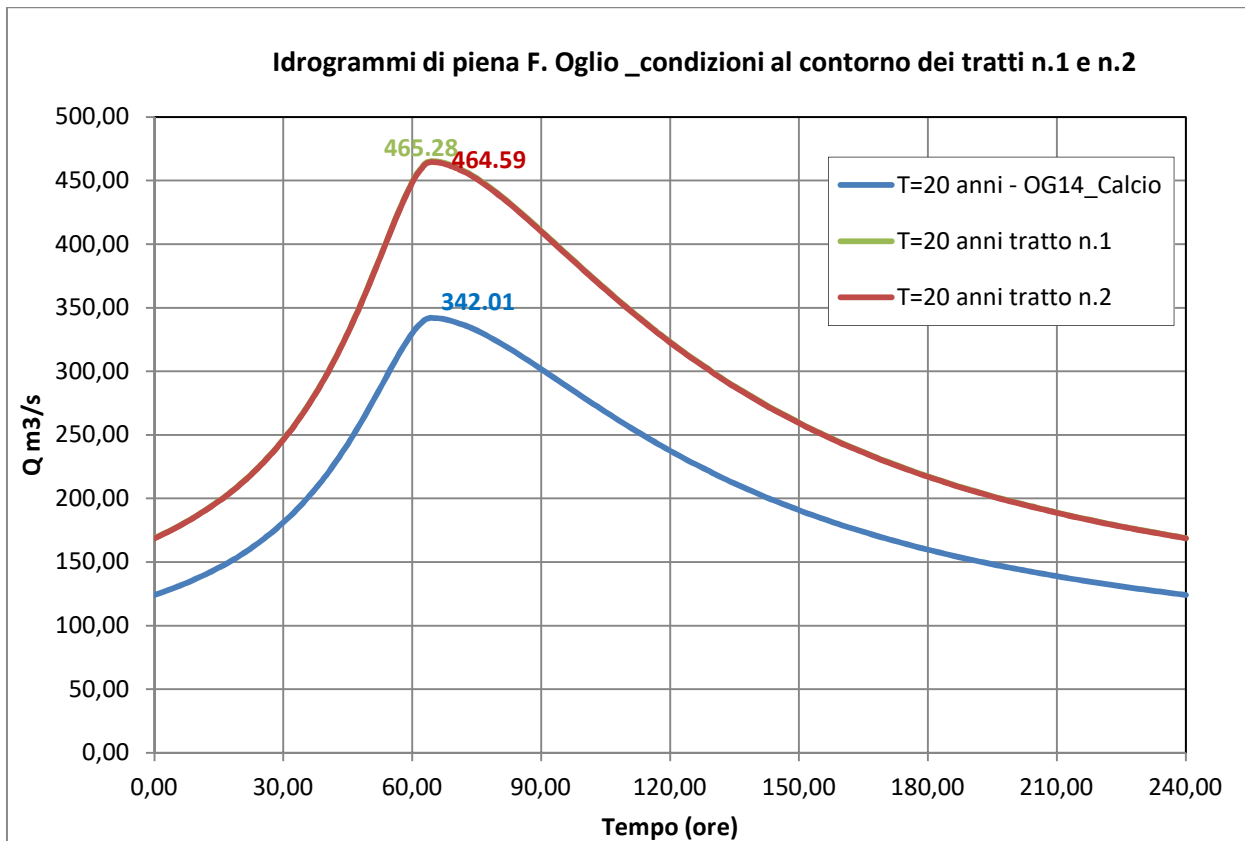


Dati BC Line:

- Collegamento all'area di allagamento n. 01
- Condizione al contorno pendenza terreno $i = 0,003$ m/m
- Portata massima transitata $82,20$ m³/s
- Portata media transitata $33,48$ m³/s
- Volume totale transitato $28'950'930,00$ m³

8 LIMITE DEGLI ALLAGAMENTI PER LE PIENE FREQUENTI (TR 20)

I dati idrologici contenuti nello Studio di fattibilità dell'AdBPo, utilizzati nel calcolo della modellazione idraulica al moto vario, per le piene con TR 20, sono rappresentati nei grafici seguente



Il calcolo idraulico mostra come l'allagamento rimanga contenuti entro i limiti della rispettiva area interessata dalle piene frequenti e rare rappresentate nelle mappe del PGRA.

Figura n° 8.1 - Massima espansione dell'allagamento per TR 20 anni – tratto nord





Figura n° 8.2 - Massima espansione dell'allagamento per TR20 anni – tratto centrale



Figura n° 8.3 - Massima espansione dell'allagamento per TR 20 anni – tratto sud



 Limite aree allagabili per lo scenario frequente H/P3 del PGRA

 Limite aree allagabili con classe di rischio R4 (PGRA)