

# DERIVAZIONE IDROELETTRICA SUL FIUME ADDA *a valle del nuovo ponte sulla SS591*

"Piccola derivazione" ai sensi dell'art. 6 del R.D. 1775/1933

Valutazione di impatto ambientale artt. 23-24-25-26 D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii

## CONTRODEDUZIONI

Studio idraulico modello numerico bidimensionale  
a fondo mobile fiume Adda  
Relazione idraulica

DATA PROGETTO	CONTRODEDUZIONI	SCALA	ELABORATO
Dicembre 2012	Giugno 2014		05

### GRUPPO DI PROGETTAZIONE

### PROPONENTE

**Capellino**  
Studio di Ingegneria

**STUDIO DI INGEGNERIA**  
**Dott. Ing. ANTONIO CAPELLINO**

Via Rosa Bianca, 18  
12084 Mondovì - (CN)  
☎ 0174/551247  
335/6560172

✉ studiocapellino@alice.it

  
ORDINE DEGLI INGEGNERI  
DELLA PROVINCIA DI CUNEO  
A647 Dott. Ing. Antonio Capellino

**Dott. Arch. DANIELE BORGNA**

Via G. Pascoli, 39/6 - 12084 Mondovì (CN)  
☎ 339-3131477  
✉ arch.borgna@virgilio.it

**Geom. ALBERTO BALSAMO**

S.S. 28 Nord, 6 - 12084 Mondovì (CN)  
☎ 347-4097196  
✉ alberto.balsamo@geopec.it

**Dott. Ing. ALBERTO BONELLO**

Strada di Pascomonti - 12084 Mondovì (CN)  
☎ 328-4541205  
✉ alberto.bonello@ingpec.eu

**gi**

Sis.Co. In.

**Dott. Ing. BARTOLOMEO DOMINICI**

Via Bucci, 2  
10022 CARMAGNOLA - (TO)

☎ 011/9711820  
337-221887

✉ ing.dominici@virgilio.it

**Dott. Ing. FABRIZIO FOLTRAN**

Via Urbano rattazzi, 49  
15121 ALESSANDRIA - (TO)



**EDISON**

**EDISON S.p.a.**

Sede Legale:  
Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano  
Partita IVA 12921540154

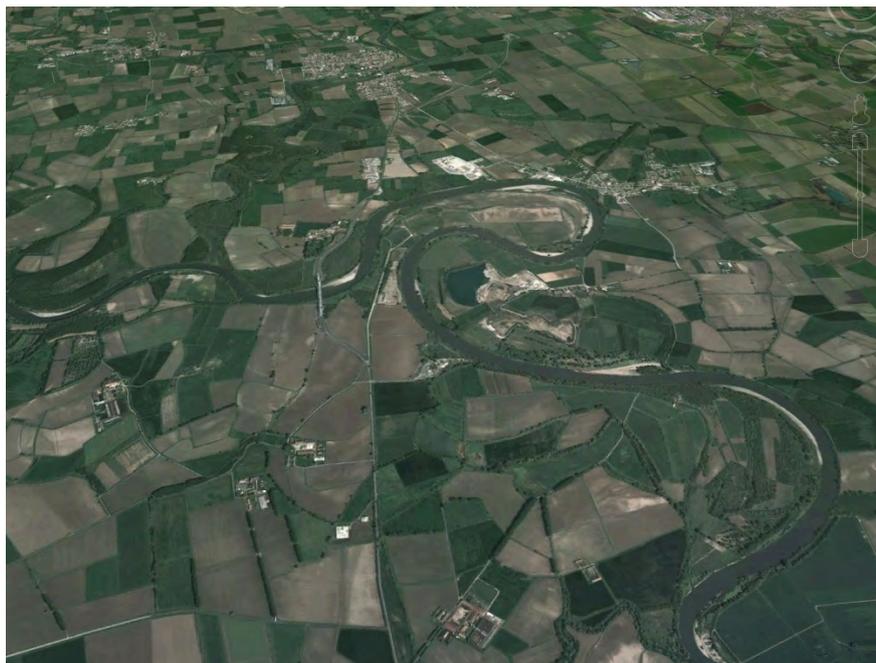
☎ 02/6222.7534  
02/6222.8480

www.edison.it

✉ PEC: asee@pec.edison.it

**PROPONENTE:** Edison S.p.A.

**COMMESSA:** DERIVAZIONE IDROELETTRICA  
SUL FIUME ADDA A VALLE DEL NUOVO  
PONTE SULLA SS591



**ELABORATO:** STUDIO IDRAULICO MODELLO NUMERICO  
BIDIMENSIONALE A FONDO MOBILE F. ADDA e  
F. SERIO. RELAZIONE IDRAULICA

**DATA:** Giugno 2014

**Studio CAPELLINO**  
**Dott. Ing. Antonio CAPELLINO**  
*Via Rosa Bianca, 18*  
*12084 Mondovì (CN) – tel. 0174551247*

**Dott. Ing. Fabrizio FOLTRAN**  
*Via Urbano Rattazzi, 49*  
*15121 Alessandria – tel. 3357521454*

## INDICE

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....</b>	<b>6</b>
<b>3. STUDI PREGRESSI .....</b>	<b>6</b>
<b>4. RILIEVO TOPOGRAFICO DI RIFERIMENTO.....</b>	<b>7</b>
<b>5. OPERE DI DIFESA SPONDALE ESISTENTI .....</b>	<b>9</b>
<b>6. GRANULOMETRIA.....</b>	<b>12</b>
<b>7. DEFINIZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'ALVEO E DELLE FORME FLUVIALI RIATTIVABILI .....</b>	<b>27</b>
7.1 Confronto sezioni trasversali anni 1992, 2003 e 2014 .....	28
7.2 Evoluzione planimetrica attuale e pregressa del corso del f. Adda e del f. Serio alla confluenza ...	38
7.2.1 Analisi immagini satellitari .....	38
7.2.2 Analisi Studio di Fattibilità Autorità di Bacino fiume Po.....	49
7.2.3 Conclusioni.....	51
7.3 Modificazioni altimetriche dell'alveo dei fiumi Adda e Serio .....	52
7.3.1 Conclusioni.....	53
7.4 Cartografia delle caratteristiche morfologiche dell'alveo .....	54
7.5 Cartografia delle caratteristiche evolutive dell'alveo .....	59
<b>8. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IDRAULICA E DI TRASPORTO SOLIDO.....</b>	<b>65</b>
8.1 Finalità dello studio idrodinamico e morfologico.....	65
8.2 Descrizione Modello BASEMENT.....	65
8.3 Costruzione della mesh di calcolo.....	66
8.4 Condizioni al contorno .....	68
8.4.1 Portate liquide.....	68
8.4.2 Portate solide .....	72
8.4.3 Condizione al contorno di valle.....	74
8.4.4 Parametri di scabrezza.....	74
8.5 Taratura modello e allagamento evento novembre 2002.....	75

<b>8.6</b>	<b>Scenari analizzati e risultati delle simulazioni.....</b>	<b>80</b>
8.6.1	Scenario di stato attuale (Tr20, 100 e 200 anni) .....	80
8.6.2	Scenario di progetto con funzionamento paratoie poste sulla traversa (paratoie ‘orizzontali’- Tr20, 100 e 200) .....	92
8.6.3	Scenari di progetto con parziale funzionamento delle paratoie in caso di piena straordinaria (TR=200 anni) .....	109
8.6.4	Scenari di progetto con totale malfunzionamento delle paratoie in caso di piena catastrofica (TR=500 anni) .....	115
8.6.5	Scenario di progetto con basse portate $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	119
8.6.6	Scenario di progetto con basse portate $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$ .....	131
8.6.7	Analisi morfologica del tratto .....	140

## **9. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLA DIRETTIVA 4 DELLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI E DELL’ALLEGATO ALLA DELIBERAZIONE N°8/2010 ..... 147**

<b>9.1</b>	<b>Impostazione dell’analisi .....</b>	<b>147</b>
9.1.1	Assetto geometrico .....	148
9.1.2	Caratteristiche morfologiche dell’alveo.....	148
9.1.3	Caratteristiche granulometriche del materiale d’alveo .....	149
9.1.4	Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale .....	150
9.1.5	Portate di piena .....	150
9.1.6	Opere di difesa idraulica.....	151
9.1.7	Manufatti interferenti.....	151
9.1.8	Modalità di deflusso in piena.....	152
9.1.9	Effetti degli interventi in progetto .....	152

<b>9.2</b>	<b>Compatibilità ai sensi della Direttiva 4 PAI (Deliberazione 2/99 AdBPo) e dell’Allegato 8 alla Deliberazione 8/2010 AdBPo.....</b>	<b>155</b>
9.2.1	Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena (punto E.1) .....	155
9.2.2	Riduzione della capacità di invaso dell’alveo (punto E.2).....	157
9.2.3	Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti (punto E.3) .....	158
9.2.4	Opere idrauliche in progetto nell’ambito dell’intervento (punto E.4) .....	158
9.2.5	Modifiche indotte sull’assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell’alveo inciso e di piena (punto E.5).....	158
9.2.6	Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale (punto E.6) .....	159
9.2.7	Condizioni di sicurezza dell’intervento rispetto alla piena (punto E.7).....	172

## **10. CONCLUSIONI..... 172**

## 1. PREMESSA

La presente relazione idraulica analizza gli aspetti idraulici inerenti il progetto di “Derivazione idroelettrica sul Fiume Adda a valle del nuovo ponte sulla SS591”; l’area di intervento è sita sul fiume Adda nel tratto che rappresenta il confine tra il Comune di Bertonico (LO), in destra idrografica, e i Comuni di Ripalta Arpina (CR) e Gombito (CR), in sponda sinistra. In particolare l’opera di derivazione è posta in corrispondenza della porzione di monte dell’ampio meandro presente a valle della confluenza del Fiume Serio nel Fiume Adda, immediatamente ad Sud-Est dell’abitato di Bocca di Serio.

Il presente studio si prefigge di dare risposta e seguito alle osservazioni effettuate dall’AIPo (Agenzia Interregionale per il fiume Po), con nota del 14 gennaio 2014, prot.0001059 (classifica: 6.10.20), con oggetto “Trasmissione della documentazione per la procedura di valutazione di impatto ambientale ai sensi dell’art.23 del D.Lgs.152/2006 e s.m.i. relativa al progetto di Derivazione idroelettrica sul fiume Adda a valle del nuovo ponte sulla SS591”.

Nella porzione di territorio interessata, circa 1.1 km a monte dell’impianto in progetto, è presente la confluenza del Fiume Serio nel Fiume Adda.

Lo studio analizza il tratto di asta del Fiume Adda per uno sviluppo di 4.4. km a monte della confluenza (5.5 km a monte dell’opera in progetto) e di 7.7 km a valle di essa (6.6 km a valle dell’opera in progetto) e l’asta del Fiume Serio per uno sviluppo di 3.7 km a monte della confluenza.

Lo studio analizza le condizioni di deflusso attuale in corrispondenza del nodo idraulico e sviluppa, a seguire, lo scenario di progetto di realizzazione della derivazione idroelettrica in previsione.

Dal confronto dei risultati ottenuti, si potranno valutare gli effetti dell’opera sull’assetto dell’alveo dei fiumi e, più in generale, di tutto il territorio circostante, in particolare durante gli eventi di piena con tempi di ritorno 20, 100 e 200 anni.

Uno scenario di analisi per tempo di ritorno 500 anni è stato realizzato per la valutazione degli effetti del malfunzionamento dell’opera in caso di evento di piena catastrofica.

Attraverso l’utilizzo del modello idraulico bidimensionale BASEMENT, è prevista l’analisi degli effetti sulla porzione di territorio interessato dall’opera dal punto di vista non solo

dell'allagamento e dell'idrodinamica, determinata dalla portata liquida proveniente dai corsi d'acqua, ma anche del trasporto solido in gioco in alveo ed in golena, durante la piena.

Tramite lo studio morfologico sarà quindi possibile analizzare la tendenza evolutiva dell'alveo durante le piene.

Il presente studio fa riferimento, come richiesto dalla nota AIPO, agli studi pregressi effettuati sui corsi d'acqua interessati, in particolare allo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda", redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'Aprile 2005, e allo "Studio di compatibilità idraulica", relativo ai "Lavori di ripristino del collegamento con il nuovo ponte sul Fiume Adda tra Castiglione d'Adda e Montodine SS491 Creasca" redatto dall'ing. Natale nel Febbraio 2005 per ANAS, nonché al "Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po" (PAI), redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

Le considerazioni pregresse, riportate in tali studi, sono risultate fondamentali per effettuare una corretta analisi dello stato attuale, per tarare i modelli idraulici con i dati oggettivi a disposizione, per confrontarne i risultati e giungere a conclusioni congruenti.

La trattazione riporterà, infine, la valutazione di compatibilità dell'opera prevista ai sensi della "Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI -Deliberazione n. 2 dell'11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006) e dello specifico Allegato alla deliberazione n. 8 del 21 Dicembre 2010 "Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l'uso della risorsa idrica".

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

Lo studio è stato realizzato in conformità a quanto stabilito dalla “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B” (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI - Deliberazione n. 2 dell'11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006) e dello specifico Allegato alla deliberazione n. 8 del 21 Dicembre 2010 “Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l'uso della risorsa idrica”.

## **3. STUDI PREGRESSI**

- “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda”, redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'Aprile 2005;
- “Rapporto sulla piena del Novembre 2002 in Lombardia – Fiumi Lambro e Adda Sottolacuale” , redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'Aprile 2003;
- “Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po” (PAI), redatto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po.

#### 4. RILIEVO TOPOGRAFICO DI RIFERIMENTO

Al fine di definire al meglio le caratteristiche topografiche della porzione di territorio in oggetto, sono state utilizzate le informazioni derivate da diversi rilievi:

- rilievo topografico delle sezioni trasversali nel tratto di Fiume Adda e del Fiume Serio nel tratto in oggetto;
- rilievo topografico delle sezioni batimetriche nel tratto di Fiume Adda e del Fiume Serio nel tratto in oggetto (Maggio 2014);
- rilievo topografico di dettaglio dell'area a terra interessata dalla modellazione (Maggio 2014).

La Figura 1 riporta il rilievo topografico a terra e le batimetrie.

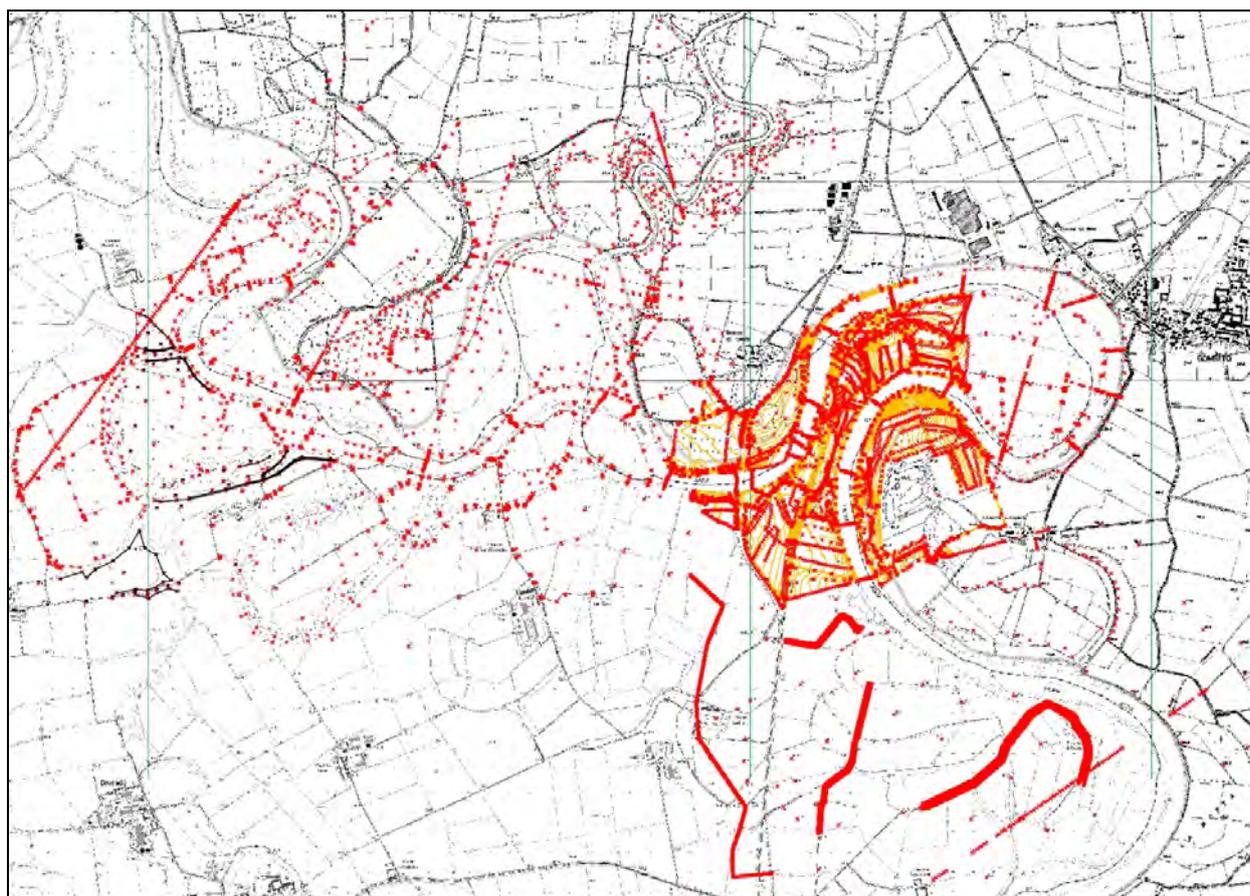


Figura 1 – Rilievo a terra e batimetrie (punti e sezioni trasversali)

A limitata integrazione dei dati suddetti, sono state utilizzate le informazioni derivanti dal DEM del territorio italiano a 10 m (Tarquini S., Vinci S., Favalli M., Doumaz F., Fornaciai A., Nannipieri L., (2012). Release of a 10-m-resolution DEM for the Italian territory: Comparison with global-coverage DEMs and anaglyph-mode exploration via the web, *Computers & Geosciences* 38, 168-170) e dalla Carta Tecnica regionale della Regione Lombardia.

L'utilizzo di tutti i dati topografici elencati precedentemente ha consentito di costruire un modello tridimensionale del terreno (TIN) di stato attuale.

Utilizzando le informazioni relative alle quote previste per il progetto, è stato redatto il modello tridimensionale (TIN) relativo allo scenario di progetto.

## 5. OPERE DI DIFESA SPONDALE ESISTENTI

Le informazioni fornite dallo Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino (Attività\_3.1.1.3) e alcuni sopralluoghi mirati hanno consentito di documentare la posizione planimetrica delle difese spondali e dei rilevati arginali esistenti, come indicato nelle rappresentazioni planimetriche delle seguenti figure. Risulta immediatamente evidente che l'intero tratto in esame presenta difese spondali longitudinali poste ad esterno curva, in grado di prevenire effetti erosivi di sponda e modifiche planimetriche di tracciato, a ulteriore conferma della stabilità planimetrica di tracciato. In Comune di Bertonico, in sponda destra in corrispondenza dell'allineamento ovest-est del f. Adda a cavallo della confluenza col f. Serio, è presente un sistema di argini atti a prevenire allagamenti in direzione sud. In sponda sinistra f. Serio, immediatamente a monte della confluenza, gli argini esistenti sono stati affiancati posteriormente, a seguito dell'evento alluvionale 2002, da un recente sistema arginale a protezione dell'abitato di Bocca di Serio (linea nera in Figura 3, Figura 4, Figura 5, Figura 6). Due ulteriori argini sono presenti a esterno curva, sponda sinistra, ad ovest dell'area in esame, in corrispondenza:

- dell'abitato di Gombito;
- nord di Cascina Fasola all'altezza dell'abitato di Cornaletto, a chiusura sud del modello idraulico in esame.

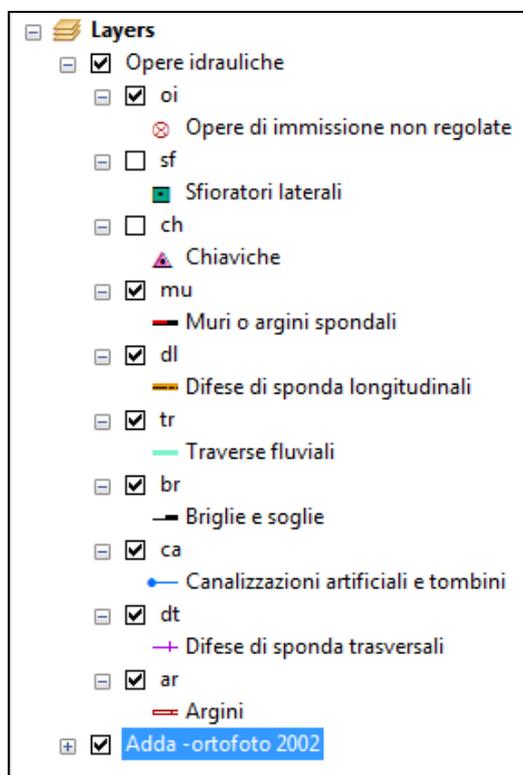


Figura 2 – Disposizione rilevati arginali e difese spondali esistenti. Legenda



Figura 3 – Disposizione rilevati arginali e difese spondali esistenti. Planimetria d'insieme (in nero il rilevato arginale di recente realizzazione)

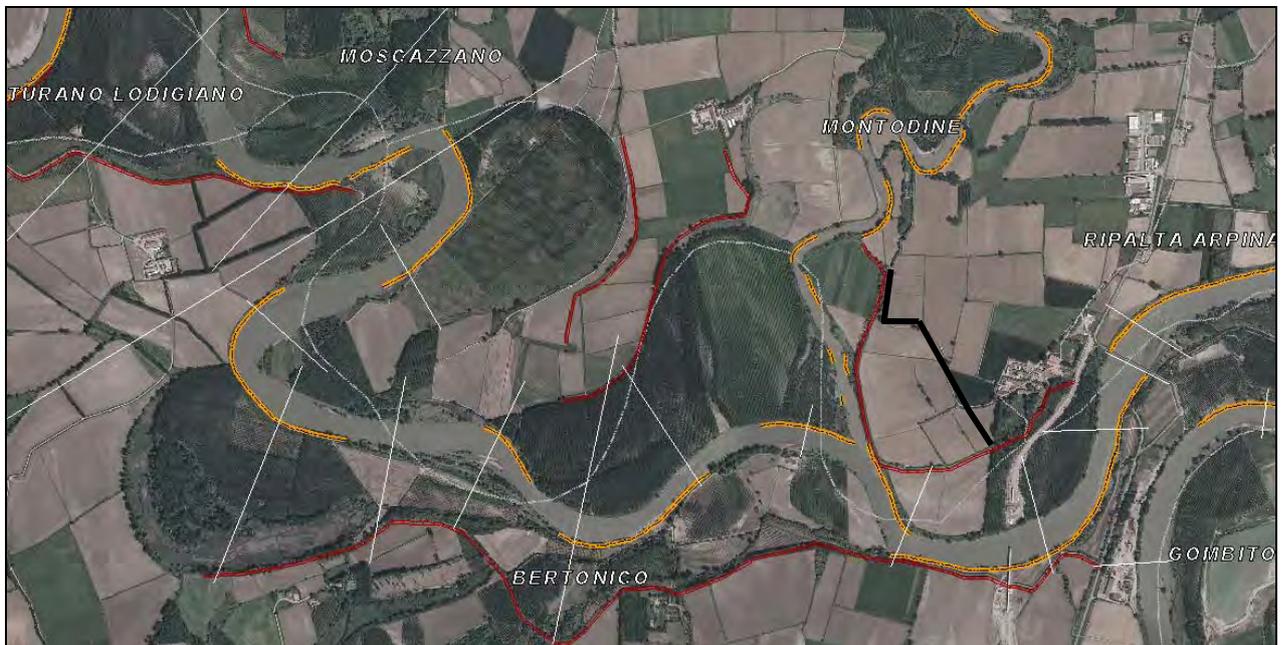


Figura 4 – Disposizione rilevati arginali e difese spondali esistenti. Planimetria di dettaglio di monte (in nero il rilevato arginale di recente realizzazione)

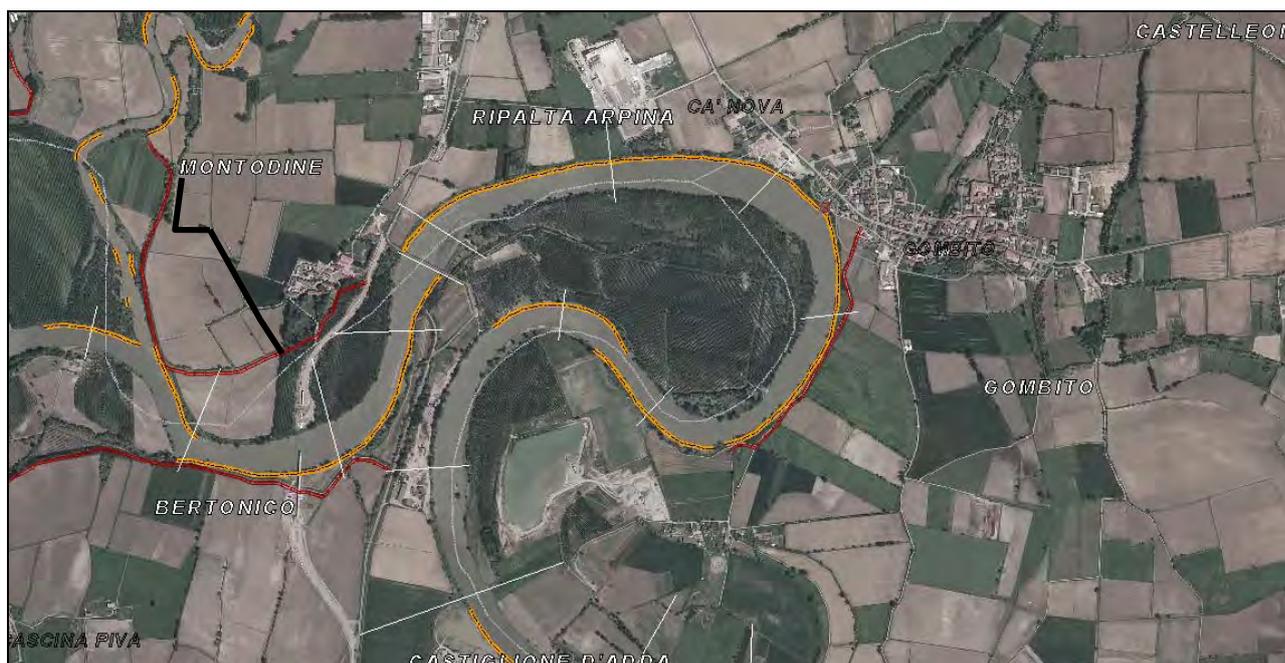


Figura 5 – Disposizione rilevati arginali e difese spondali esistenti. Planimetria di dettaglio meandro di Gombito (in nero il rilevato arginale di recente realizzazione)

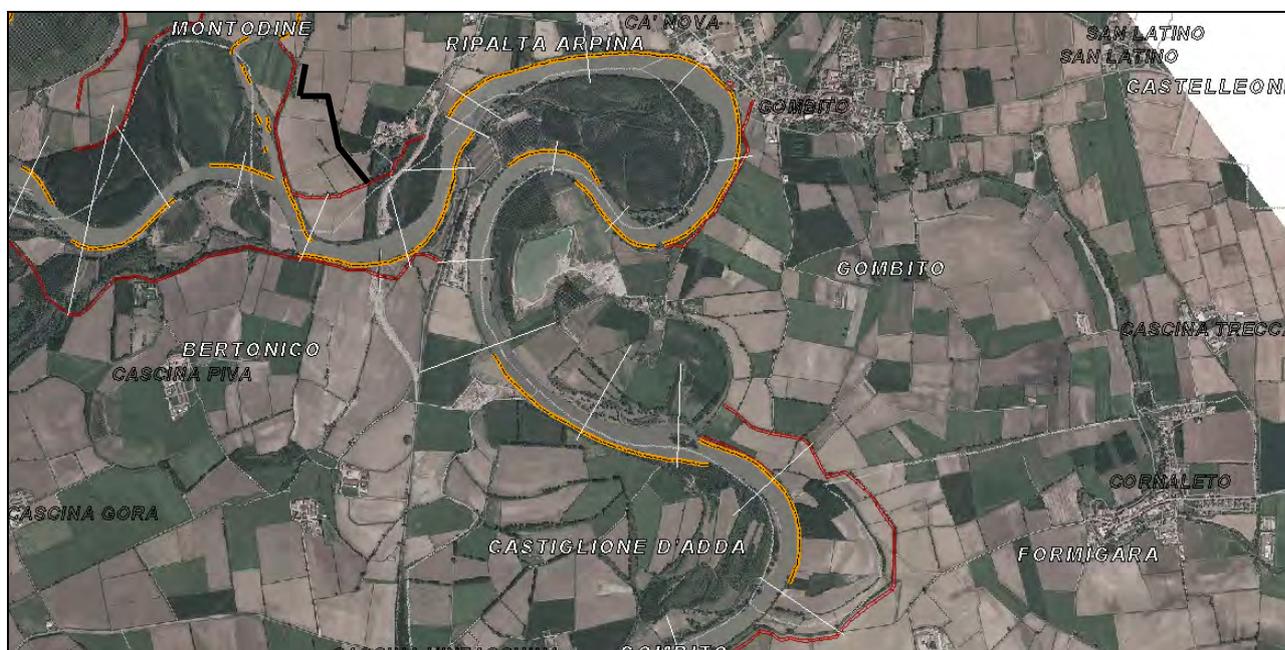


Figura 6 – Disposizione rilevati arginali e difese spondali esistenti. Planimetria di dettaglio di valle (in nero il rilevato arginale di recente realizzazione)

## 6. GRANULOMETRIA

I dati relativi alla granulometria sono stati desunti dallo “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Adda da Olginate alla confluenza in Po e del Fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda - Attività 3.1.1.3 e Attività 3.3.1.3: Rilievo delle caratteristiche granulometriche dei depositi d’alveo” dell’Autorità di Bacino del fiume Po.

La seguente Figura 7 descrive lo schema adottato per la disposizione dei campioni sulla sezione.

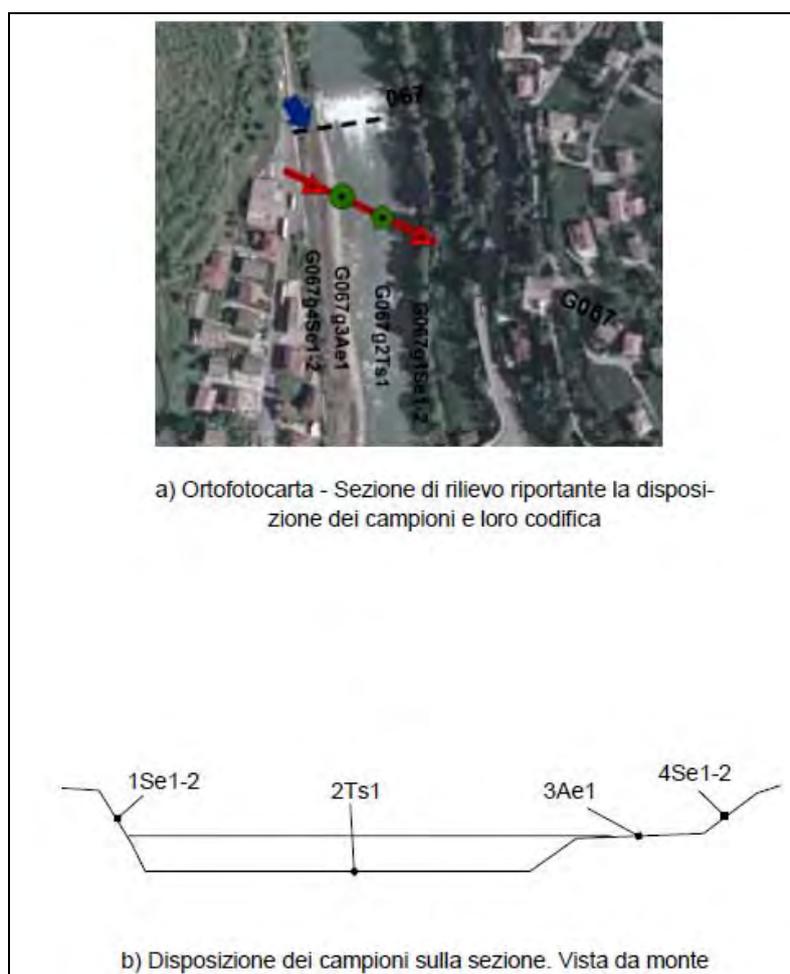


Figura 7 – Granulometria. Schema disposizione campioni sulla sezione

Le seguenti figure mostrano la disposizione planimetrica dei campioni prelevati, all’interno dell’area di studio rappresentata dalla estensione della mesh di calcolo, secondo le sezioni trasversali 54-59-64-67-68-73..

In particolare, procedendo da valle verso monte, si riportano la legenda e le planimetrie con le tracce delle sezioni lungo le quali sono stati prelevati i campioni granulometrici, desunte dal documento “3.1.1.3/2/1C.pdf: Cartografia dei rilievi granulometrici”.



Figura 8 – Granulometria. Legenda Planimetrie

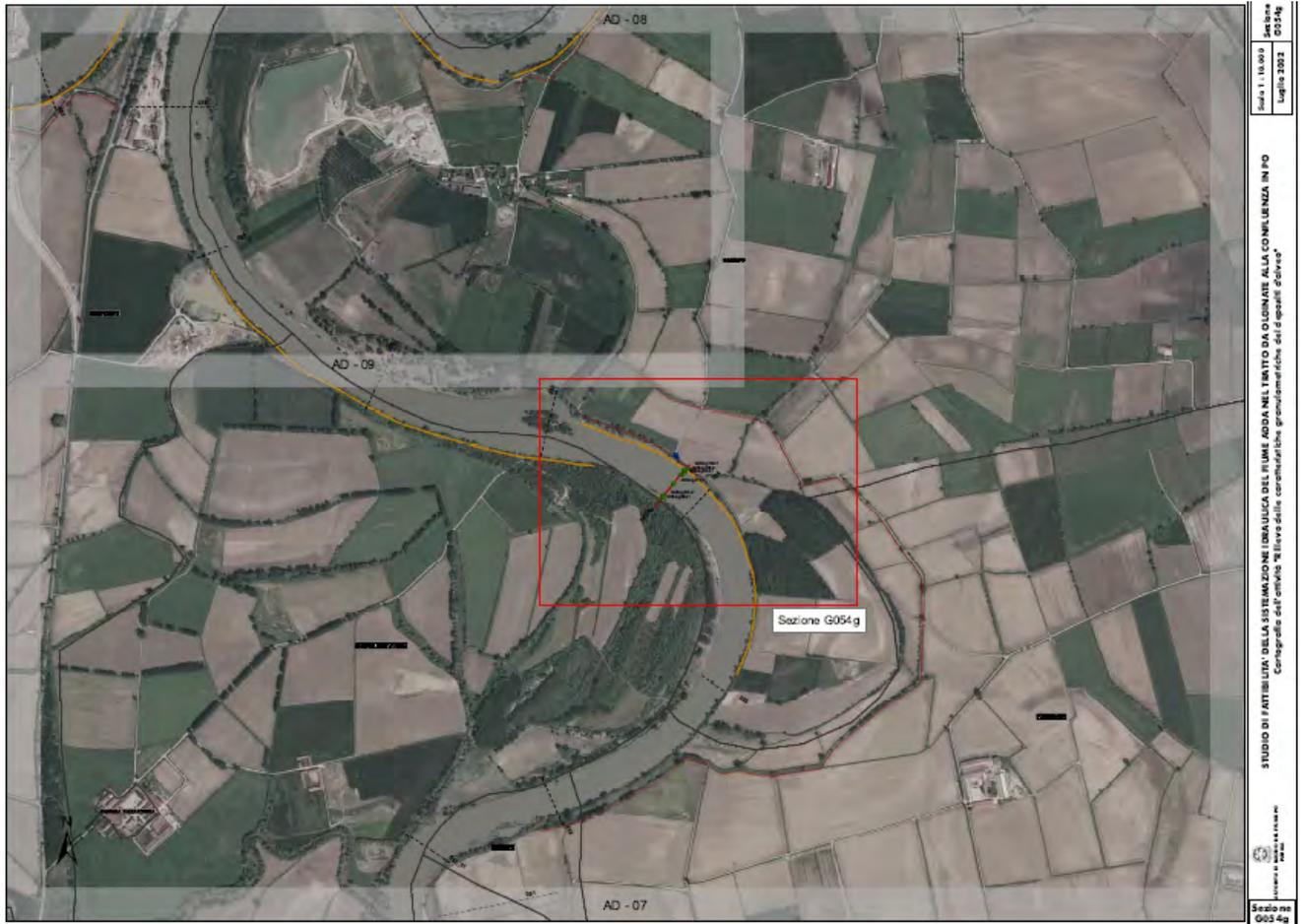


Figura 9 – Granulometria. Planimetria sezione G054g



Figura 10 – Granulometria. Planimetria sezione G054g. Ingrandimento



Figura 11 – Granulometria. Planimetria sezione G059g



Figura 12 – Granulometria. Planimetria sezione G059g. Ingrandimento



Figura 13 – Granulometria. Planimetria sezione G064g

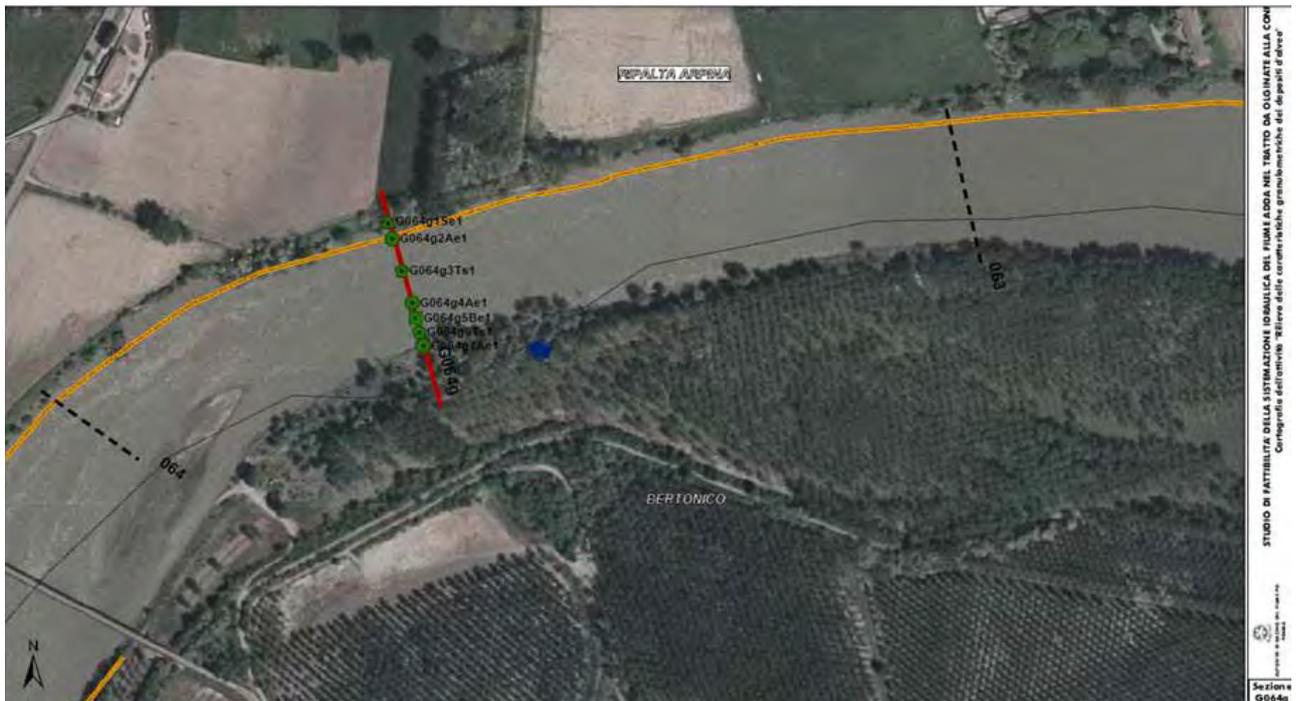


Figura 14 – Granulometria. Planimetria sezione G064g. Ingrandimento



Figura 15 – Granulometria. Planimetria sezione G067g



Figura 16 – Granulometria. Planimetria sezione G067g. Ingrandimento



Figura 17 – Granulometria. Planimetria sezione G068g



Figura 18 – Granulometria. Planimetria sezione G068g. Ingrandimento



Figura 19 – Granulometria. Planimetria sezione G073g



Figura 20 – Granulometria. Planimetria sezione G073g. Ingrandimento

Sezione	G054g					
Progr. km	265,571					
Campione	G054g1Se1	G054g2Be1	G054g3Ae1	G054g4Ts1	G054g5Ae1	G054g6Se1
UTMx	557054,47	557046,78	557038,40	557014,20	556983,46	556970,70
UTMy	5010550,90	5010540,32	5010528,98	5010500,69	5010463,76	5010452,15
Dmax	1,00	12,70	25,40	101,60	50,80	2,00
D16	0,01	0,26	0,43	0,70	0,51	0,01
D25	0,02	0,38	0,54	0,88	0,56	0,03
D50	0,05	0,61	0,69	26,16	0,73	0,16
D75	0,08	0,80	0,90	40,00	0,95	0,44
D84	0,16	0,92	0,99	46,61	1,78	0,60
D90	0,31	0,94	1,86	53,89	5,83	0,74
Sk	0,75	0,81	1,00	0,05	1,00	0,53
Ku	0,10	0,28	0,11	0,37	0,04	0,28
Cc	2,05	1,63	1,54	0,06	1,34	1,08
<b>passante (%)</b>						

diametro (mm)						
101,6				100,00		
50,8				89,07	100,00	
25,4			100,00	48,26	99,07	
12,7		100,00	98,10	39,07	97,52	
4,75		99,39	95,45	35,20	88,02	
2		98,65	90,52	33,37	84,81	100,00
1	100,00	95,46	85,40	29,88	79,86	99,24
0,5	94,39	31,53	18,01	3,38	14,57	78,37
0,149	83,18	3,44	2,37	0,19	2,27	47,63
0,075	73,80	0,61	0,28	0,10	1,24	35,48
0,031	35,13			#N/D	#N/D	24,76
0,022	27,53			#N/D	#N/D	21,87
0,020	#N/D			#N/D	#N/D	#N/D
0,016	22,97			#N/D	#N/D	18,82
0,012	19,48			#N/D	#N/D	14,45
0,009	15,39			#N/D	#N/D	9,71
0,008	#N/D			#N/D	#N/D	#N/D
0,007	#N/D			#N/D	#N/D	#N/D
0,006	11,76			#N/D	#N/D	6,18
0,005	8,12			#N/D	#N/D	3,90
0,004	#N/D			#N/D	#N/D	#N/D
0,003	5,71			#N/D	#N/D	2,59
0,002	#N/D			0,07	0,90	#N/D
0,001	4,16					1,11
0,0001						

Tabella 1. Granulometrie sez. G054g

Sezione	G059g			
Progr. km	262,864			
Campione	G059g1Ae1	G059g2Ts1	G059g3Ae1	G059g4Se1
UTMx	555858,08	555855,46	555846,96	555844,84
UTMy	5012143,73	5012171,75	5012222,85	5012240,84
Dmax	50,80	50,80	50,80	4,75
D16	0,55	2,54	0,88	0,01
D25	2,02	4,33	3,81	0,01
D50	10,43	11,77	10,80	0,04
D75	21,17	28,60	20,12	0,12
D84	27,12	35,17	24,65	0,20
D90	34,32	40,37	31,68	0,29
Sk	0,39	0,89	0,66	0,85
Ku	0,28	0,31	0,26	0,19
Cc	3,00	1,11	4,73	1,06

<b>passante (%)</b>				
diametro (mm)				
101,6				
50,8	100,00	100,00	100,00	
25,4	82,33	69,83	85,32	
12,7	54,45	51,96	54,59	
4,75	32,19	26,58	26,68	100,00
2	24,93	11,98	20,10	99,77
1	22,47	6,86	17,06	99,32
0,5	14,86	2,51	11,21	97,95
0,149	2,88		2,82	80,00
0,075	0,48		0,51	62,27
0,031				42,00
0,022				35,57
0,020				#N/D
0,016				28,84
0,012				22,95
0,009				#N/D
0,008				20,24
0,007				#N/D
0,006				#N/D
0,005				14,58
0,004				11,50
0,003				8,09
0,002				#N/D
0,001				4,21
0,0001				

Tabella 2. Granulometrie sez. G059g

<b>Sezione</b>	<b>G064g</b>						
<b>Progr. km</b>	<b>259,910</b>						
<b>Campione</b>	<b>G064g1Se1</b>	<b>G064g2Ae1</b>	<b>G064g3Ts1</b>	<b>G064g4Ae1</b>	<b>G064g5Be1</b>	<b>G064g6As1</b>	<b>G064g7Ae1</b>
UTMx	555736,38	555739,46	555746,63	555754,48	555757,13	555759,77	555762,87
UTMy	5012650,08	5012636,86	5012613,18	5012588,71	5012577,22	5012567,05	5012556,46
Dmax	25,40	101,60	50,80	25,40	50,80	50,80	50,80
D16	0,09	0,83	1,28	1,20	0,22	0,30	0,30
D25	0,12	4,69	4,12	2,03	0,33	5,15	5,15
D50	0,26	18,30	23,23	4,49	6,53	13,43	13,43
D75	0,58	36,45	35,38	8,44	18,59	29,29	29,29
D84	0,78	44,66	40,30	10,55	24,48	35,71	35,71
D90	0,96	51,83	43,95	12,24	31,79	40,76	40,76
Sk	1,03	0,51	0,27	0,85	0,14	0,84	0,84
Ku	0,20	0,31	0,36	0,28	0,29	0,30	0,30

Cc	0,70	5,19	2,25	1,27	0,09	15,89	15,89
<b>passante (%)</b>							
<b>diametro (mm)</b>							
101,6	100,00						
50,8	89,70 100,00 100,00 100,00 100,00						
25,4	100,00	58,99	52,11	100,00	85,21	68,52	96,85
12,7	96,01	39,98	35,73	91,50	62,52	48,37	72,77
4,75	93,04	25,08	26,14	51,80	44,00	22,89	44,01
2	92,21	19,69	19,19	24,60	39,90	21,53	35,80
1	91,28	17,38	14,23	12,95	38,43	21,08	33,86
0,5	70,50	12,11	2,56	5,47	33,89	19,72	20,77
0,149	32,56	6,36	0,25	2,50	7,61	11,12	8,94
0,075	9,28	2,48	0,17	0,88	1,17	5,57	4,00
0,031	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,022	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,020	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,016	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,012	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,009	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,008	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,007	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,006	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,005	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,004	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,003	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D	#N/D
0,002	1,71	1,22	0,14	0,36		3,77	2,39
0,001							
0,0001							

Tabella 3. Granulometrie sez. G064g

Sezione	G067g			
Progr. km	258,422			
Campione	G067g1Se1	G067g2Be1	G067g3Ts1	G067g4Ae1
UTMx	554851,68	554849,15	554842,66	554836,64
UTMy	5011729,06	5011713,55	5011678,20	5011643,56
Dmax	2,00	50,80	50,80	2,00
D16	0,11	0,78	7,78	0,12
D25	0,13	4,88	11,75	0,16
D50	0,23	8,80	19,53	0,26
D75	0,40	15,87	31,28	0,44
D84	0,48	19,61	37,24	0,55
D90	0,61	22,58	41,84	0,69
Sk	0,98	1,00	0,96	1,00

Ku	0,25	0,25	0,27	0,23
Cc	0,90	8,37	1,31	1,03
<b>passante (%)</b>				
<b>diametro (mm)</b>				
101,6				
50,8		100,00	100,00	
25,4		95,00	64,24	
12,7		65,54	26,69	
4,75		23,85	5,24	
2	100,00	17,62	1,40	100,00
1	99,92	17,07	0,77	99,80
0,5	85,80	14,12	0,38	81,65
0,149	28,85	2,67	0,13	22,18
0,075	3,42	0,56		4,93
0,031				
0,022				
0,020				
0,016				
0,012				
0,009				
0,008				
0,007				
0,006				
0,005				
0,004				
0,003				
0,002				
0,001				
0,0001				

Tabella 4. Granulometrie sez. G067g

Sezione	G068_		
Progr. km	257,694		
Campione	G068_1Ts1	G068_2Ae1	G068_3Se1
UTMx	554329,73	554321,10	554317,67
UTMy	5012113,59	5012068,02	5012052,02
Dmax	25,40	50,80	25,40
D16	2,94	0,99	0,17
D25	4,88	2,89	0,22
D50	7,63	12,58	0,41
D75	11,94	25,22	0,73
D84	15,18	32,45	0,89
D90	18,41	38,39	1,66

Sk	1,00	0,46	0,94
Ku	0,22	0,29	0,17
Cc	1,55	2,56	0,79
<b>passante (%)</b>			
diametro (mm)			
101,6	100,00		
50,8	100,00		
25,4	100,00	75,25	100,00
12,7	78,45	50,18	95,89
4,75	23,52	30,72	92,02
2	9,93	20,76	90,33
1	5,77	16,09	89,12
0,5	1,83	10,44	57,56
0,149		2,44	10,28
0,075		0,69	1,33
0,031		#N/D	
0,022		#N/D	
0,020		#N/D	
0,016		#N/D	
0,012		#N/D	
0,009		#N/D	
0,008		#N/D	
0,007		#N/D	
0,006		#N/D	
0,005		#N/D	
0,004		#N/D	
0,003		#N/D	
0,002		0,12	
0,001			
0,0001			

Tabella 5. Granulometrie sez. G068g

Sezione	G073g			
Progr. km	253,534			
Campione	G073g1Se1	G073g2Ae1	G073g3Ts1	G073g4Ae1
UTMx	552594,43	552597,01	552601,09	552605,64
UTMy	5013121,94	5013104,12	5013063,21	5013029,09
Dmax	2,00	50,80	101,60	101,60
D16	0,12	0,45	7,31	0,41
D25	0,16	1,05	12,72	2,39
D50	0,32	10,00	25,69	11,50
D75	0,59	20,40	39,10	37,65
D84	0,72	25,18	45,48	44,92

D90	0,81	32,61	50,31	50,54
Sk	0,95	0,21	0,75	0,68
Ku	0,30	0,30	0,29	0,35
Cc	0,92	1,77	1,40	2,35
<b>passante (%)</b>				
<b>diametro (mm)</b>				
101,6			100,00	100,00
50,8		100,00	90,58	90,27
25,4		84,37	49,31	54,96
12,7		54,72	24,94	52,10
4,75		35,28	9,02	31,25
2	100,00	27,61	5,20	23,39
1	99,93	24,79	4,31	20,37
0,5	66,67	17,18	3,09	18,50
0,149	21,86	3,10	0,32	2,77
0,075	5,91	0,49	0,08	0,84
0,031	#N/D			#N/D
0,022	#N/D			#N/D
0,020	#N/D			#N/D
0,016	#N/D			#N/D
0,012	#N/D			#N/D
0,009	#N/D			#N/D
0,008	#N/D			#N/D
0,007	#N/D			#N/D
0,006	#N/D			#N/D
0,005	#N/D			#N/D
0,004	#N/D			#N/D
0,003	#N/D			#N/D
0,002	0,72			0,22
0,001				
0,0001				

Tabella 6. Granulometrie sez. G073g

Tali granulometrie sono state opportunamente assegnate al modello idrodinamico a fondo mobile descritto nel seguito.

## **7. DEFINIZIONE DELLE TENDENZE EVOLUTIVE DELL'ALVEO E DELLE FORME FLUVIALI RIATTIVABILI**

Il presente capitolo sviluppa gli aspetti inerenti le tendenze evolutive dell'alveo del f. Adda e della confluenza col f. Serio, principalmente in termini di variazione planimetrica e altimetrica nel tempo.

Tale analisi è condotta raffrontando le seguenti informazioni:

- Confronto sezioni trasversali 1992 (Magispo) - 2003 (AIPO) - 2014 (rilievo dedicato del presente studio). Le sezioni 1992 e 2003 sono state desunte dallo Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino del 2005;
- Analisi immagini satellitari nell'arco temporale 1988-2012, desunte dal sito Geoportale Nazionale <http://www.pcn.minambiente.it/GN/> e dal software Google Earth;
- Analisi critica delle "Cartografie delle caratteristiche morfologiche dell'alveo" e delle "Cartografie delle caratteristiche evolutive dell'alveo", desunte dallo Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino del 2005.

## 7.1 Confronto sezioni trasversali anni 1992, 2003 e 2014

La presente trattazione intende raffrontare i rilievi delle sezioni d'alveo eseguite nell'arco temporale 1992-2014: in particolare, le seguenti sezioni trasversali riportano la sovrapposizione delle sezioni d'alveo dei rilievi Magispo del 1992, AIPO del 2003 e rilievo del presente studio redatto nel mese di maggio 2014, al fine di descrivere le tendenze evolutive del tratto in esame nel corso degli ultimi 22 anni. Le sezioni 1992 e 2003 sono acquisite dallo Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino fiume Po del 2005. La seguente Figura 21 riporta le tracce planimetriche dei rilievi AIPO-2003 (in viola) e rilievo 2014 (in rosso).

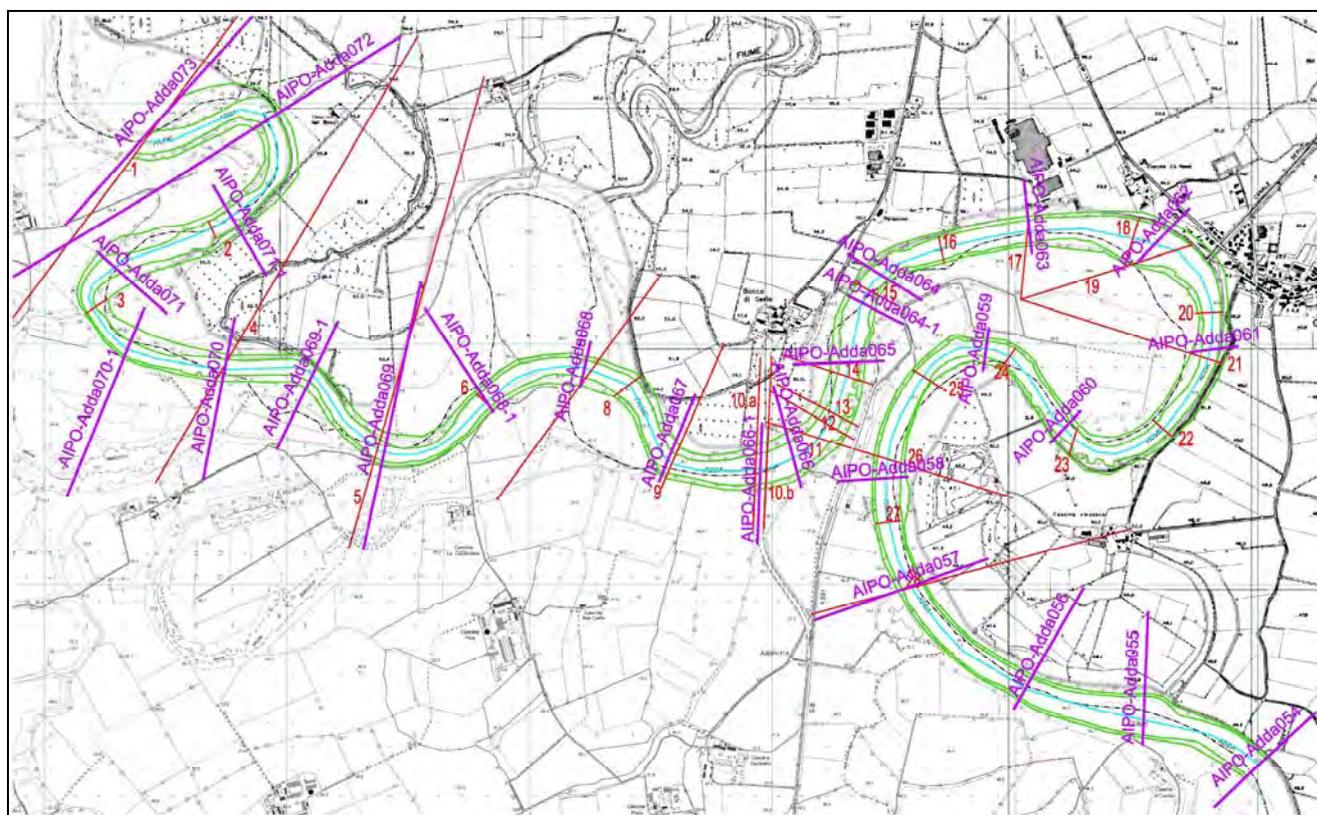


Figura 21 – Traccia rilievo sezioni AIPO 2003 (in viola) e rilievo 2014 (in rosso)

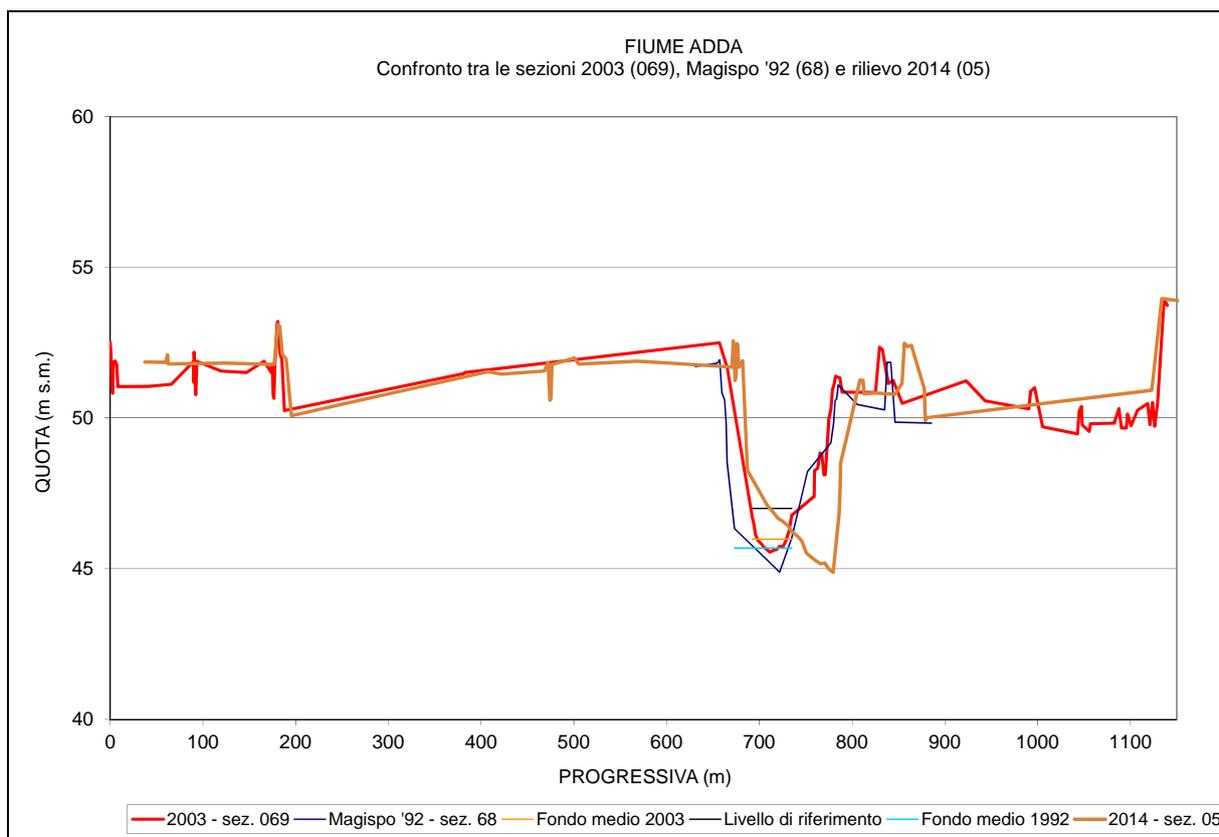


Figura 22 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 69 AIPO

In corrispondenza della sezione 69 AIPO, posta 1.2 km a monte della confluenza col f. Serio, si evidenzia un attuale modesto approfondimento del fondo alveo f. Adda rispetto alla condizione presente nel 2003, pari a circa 60 cm; tale quota di fondo riproduce sostanzialmente la quota di fondo del 1992. Planimetricamente si nota che il minimo della sezione è traslato verso la sponda destra rispetto alla configurazione 2003, in linea con la curvatura planimetrica del corso d'acqua.

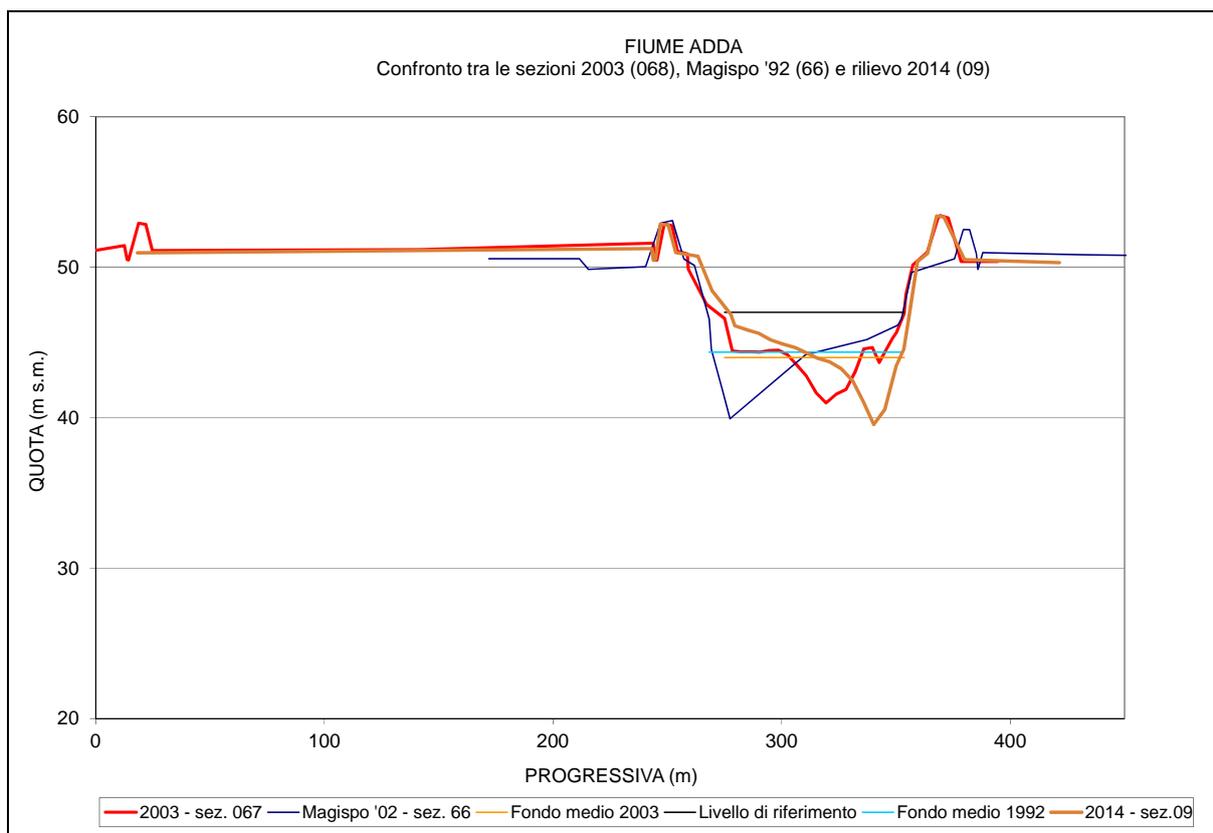


Figura 23 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 67 AIPO

In corrispondenza della sezione 67 AIPO, immediatamente a valle della confluenza col f. Serio, si evidenzia un attuale approfondimento del fondo alveo rispetto alla condizione presente nel 2003, pari a circa 140 cm; tale quota di fondo riproduce sostanzialmente la quota di fondo del 1992, sebbene planimetricamente si noti che il minimo della sezione è traslato verso la sponda destra rispetto alla configurazione centrale del 2003 e alla configurazione rivolta verso la sponda sinistra del 1992, in linea con la curvatura planimetrica del corso d'acqua.

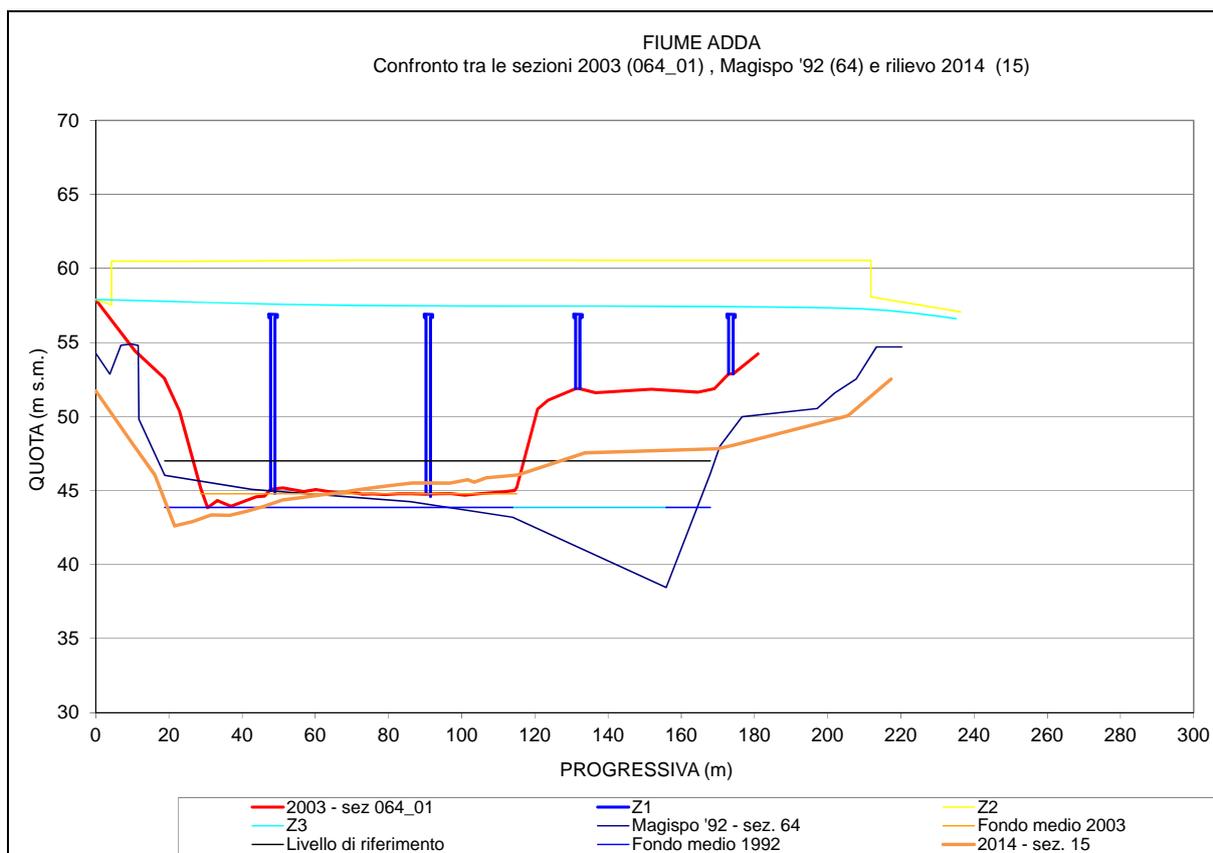


Figura 24 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 64\_01 AIPO

In corrispondenza della sezione 64\_01 AIPO, all'interno del meandro di Gombito e a valle dell'opera in progetto, il fondo alveo f. Adda attuale risulta simile a quello del 2003, essendo peraltro quest'ultimo ancora interessato dalle pile del ponte di attraversamento, oggi smantellato. Si evidenzia un modesto approfondimento in sponda sinistra, ad esterno curva, e un equivalente deposito in sponda destra, in linea con l'andamento planimetrico dell'alveo. La configurazione del fondo alveo del 1992 risulta molto differente, anche alla luce delle modificazioni indotte dalle opere di viabilità succedutesi.

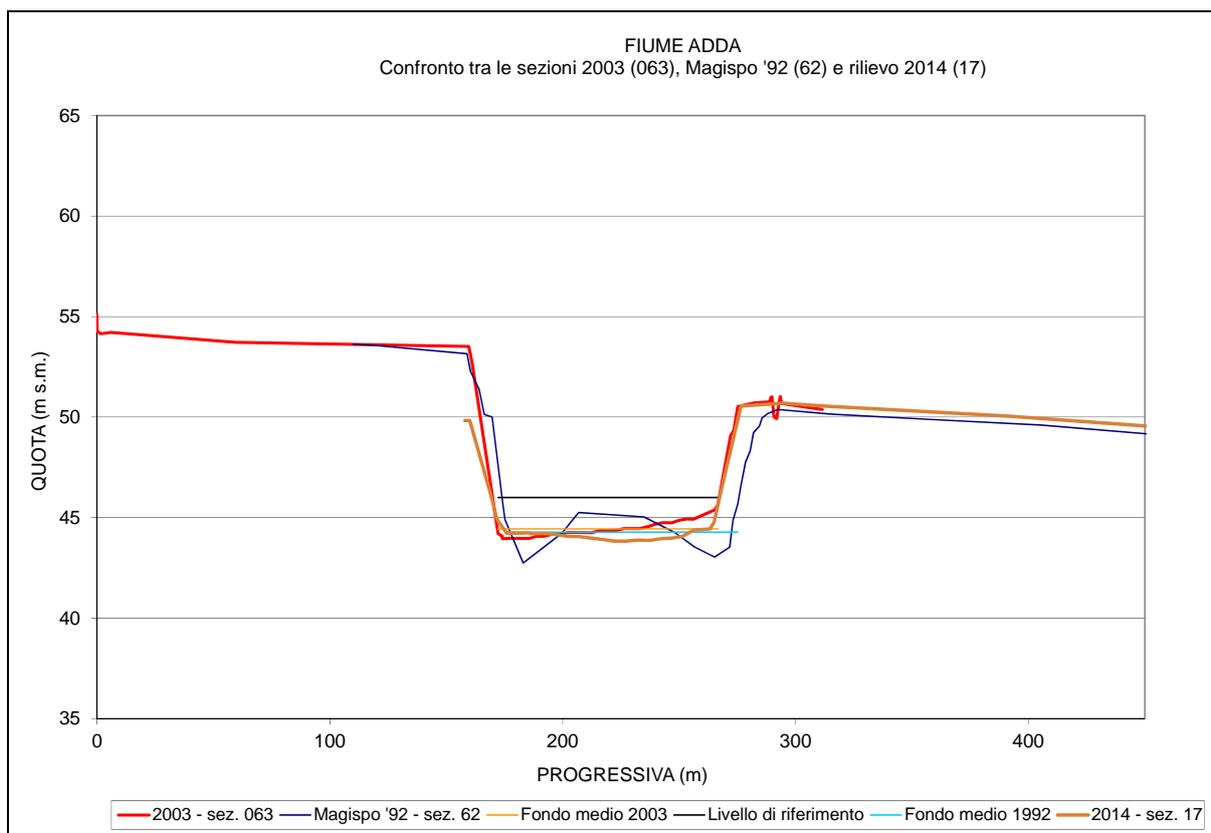


Figura 25 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 63 AIPO

In corrispondenza della sezione 63 AIPO, posta nel tratto nord planimetricamente rettilineo del meandro di Gombito, il fondo alveo f. Adda attuale risulta sostanzialmente piatto, in lieve approfondimento rispetto a quello del 2003 (circa 30-50 cm). Si evidenzia inoltre una coincidenza planimetrica dell'alveo inciso rispetto al 2003. Nel 1992 le sponde risultavano in prossimità di quelle attuali, mentre il fondo alveo, sebbene con un fondo medio paragonabile all'attuale, presentava due canali di estremità in corrispondenza delle sponde, più profondi del fondo attuale di circa 1.2 m.

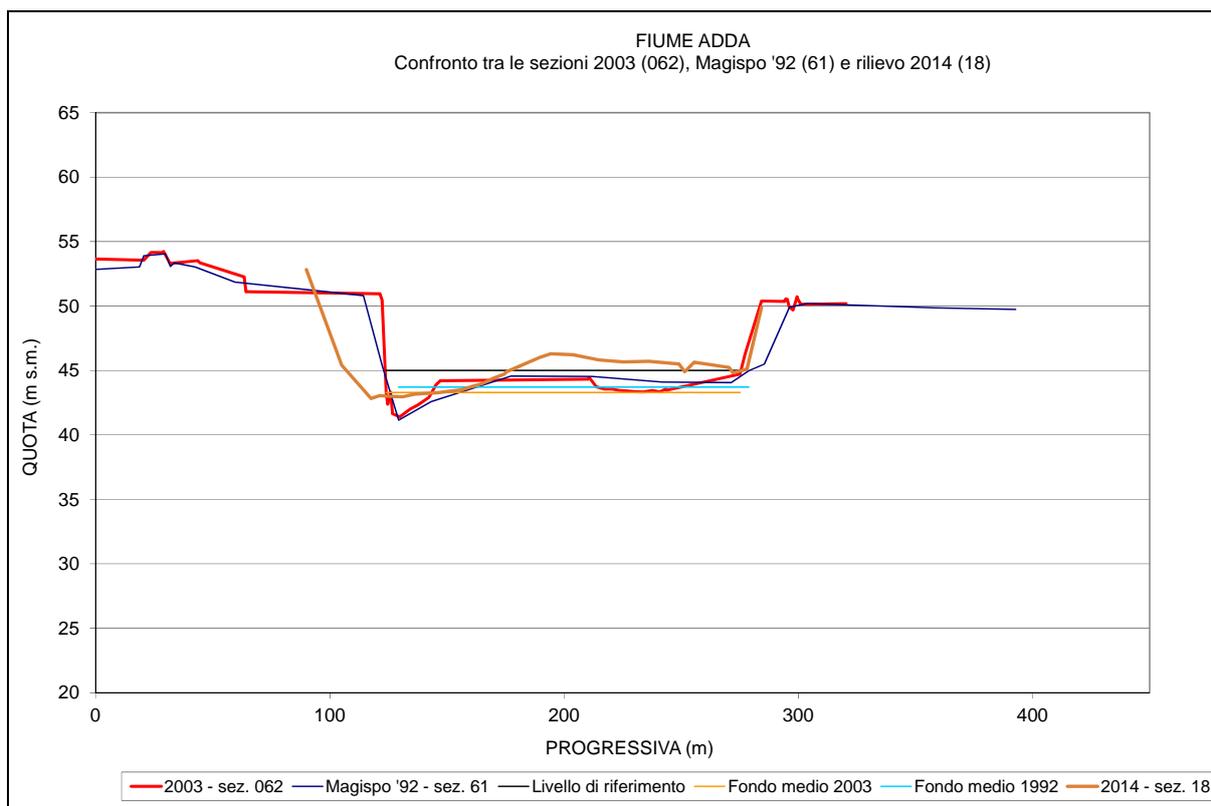


Figura 26 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 62 AIPO

In corrispondenza della sezione 62 AIPO, immediatamente a monte dell'abitato di Gombito, il fondo alveo f. Adda attuale risulta più superficiale di quello del 2003; occorre però evidenziare che la sez. 18 del rilievo 2014 si trova a monte della sezione AIPO di circa 70 m e le tracce planimetriche dei due rilievi hanno inclinazioni differenti; si può quindi ipotizzare una sostanziale invarianza della geometria del fondo alveo negli ultimi 22 anni.

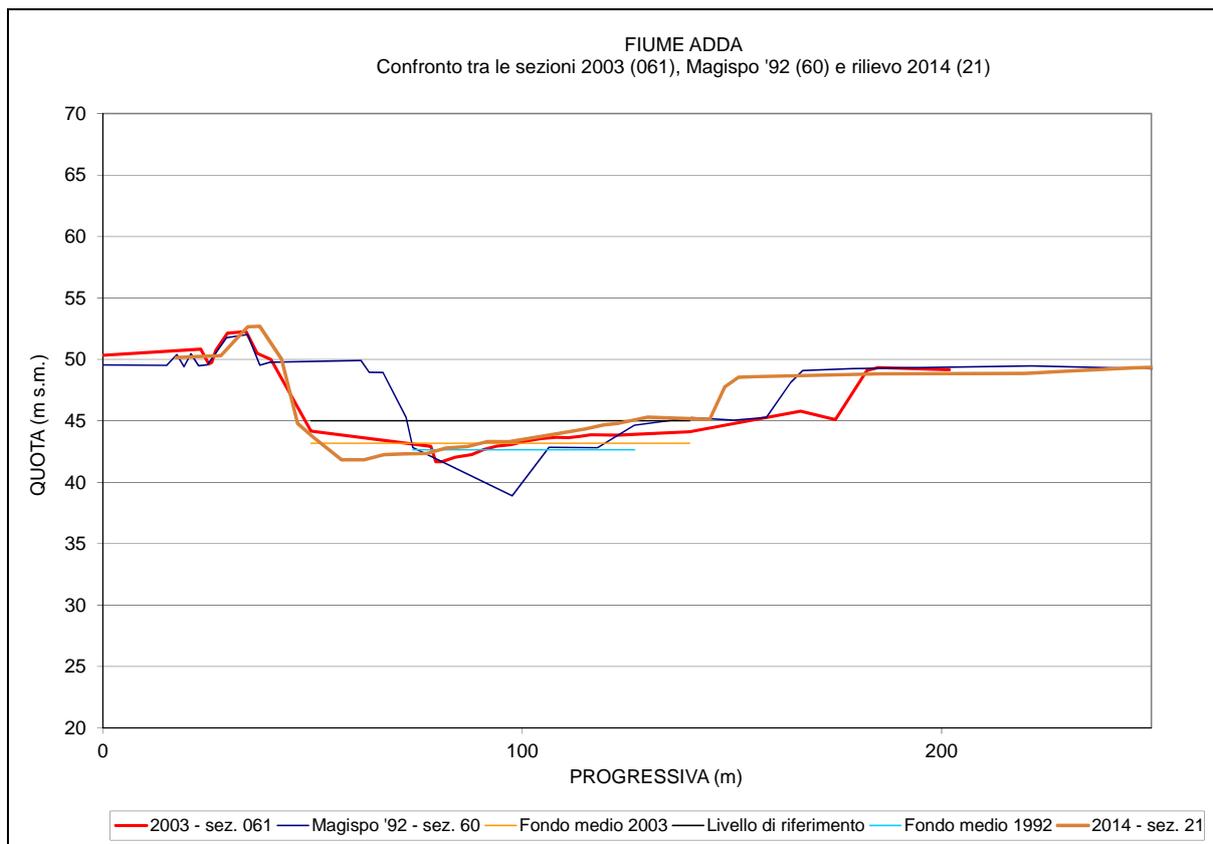


Figura 27 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 61 AIPO

In corrispondenza della sezione 61 AIPO, all'estremo est del meandro di Gombito immediatamente a valle dell'abitato, il fondo alveo f. Adda attuale risulta mediamente prossimo a quello del 2003: si sottolinea una traslazione planimetrica del minimo verso la sponda sinistra, con approfondimento di circa 2 m, e un debole rialzo del fondo in sponda destra di circa 1.50 m, in linea con la curvatura planimetrica del corso d'acqua; si può quindi evidenziare una sostanziale invarianza del fondo medio rispetto al 2003. Occorre evidenziare che lo sfasamento dei profili delle sponde è dovuto alla differente posizione ed inclinazione rispetto all'asse del corso d'acqua delle tracce planimetriche tra la sez. 61 AIPO e la sez. 21 del rilievo 2014.

La configurazione del fondo 1992 presenta un minimo a centro alveo più profondo di quello attuale e del 2003 di circa 3 m.

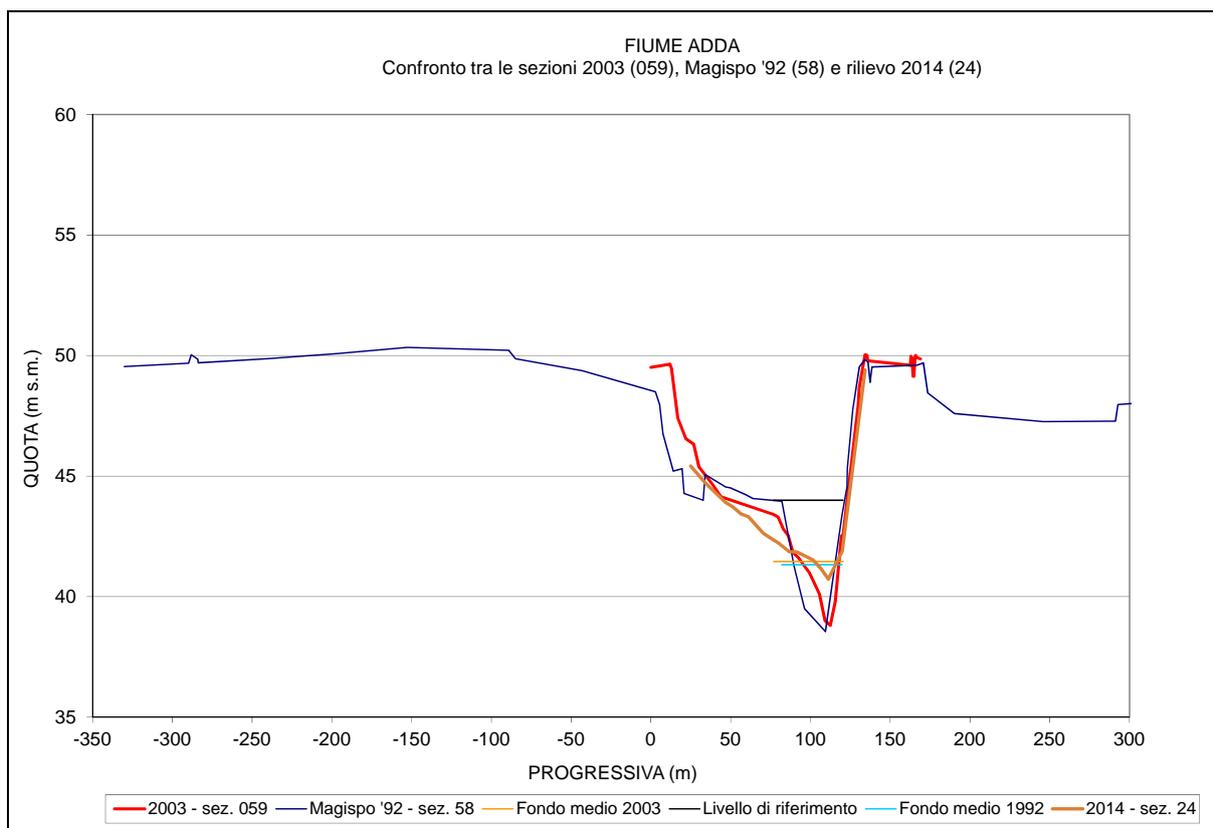


Figura 28 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 59 AIPO

In corrispondenza della sezione 59 AIPO, il fondo alveo f. Adda attuale risulta più superficiale di quello misurato nel 1992 e nel 2003, di circa 1.50 m; risulta importante evidenziare che la traccia della sezione 24 del rilievo 2014 è posta 80 m a monte della sezione 59 AIPO, e quindi l'andamento delle quote del fondo risulta affetto da tale discrasia.

La posizione delle sponde e del minimo di fondo alveo risultano di massima invariati dal 1992 ad oggi.

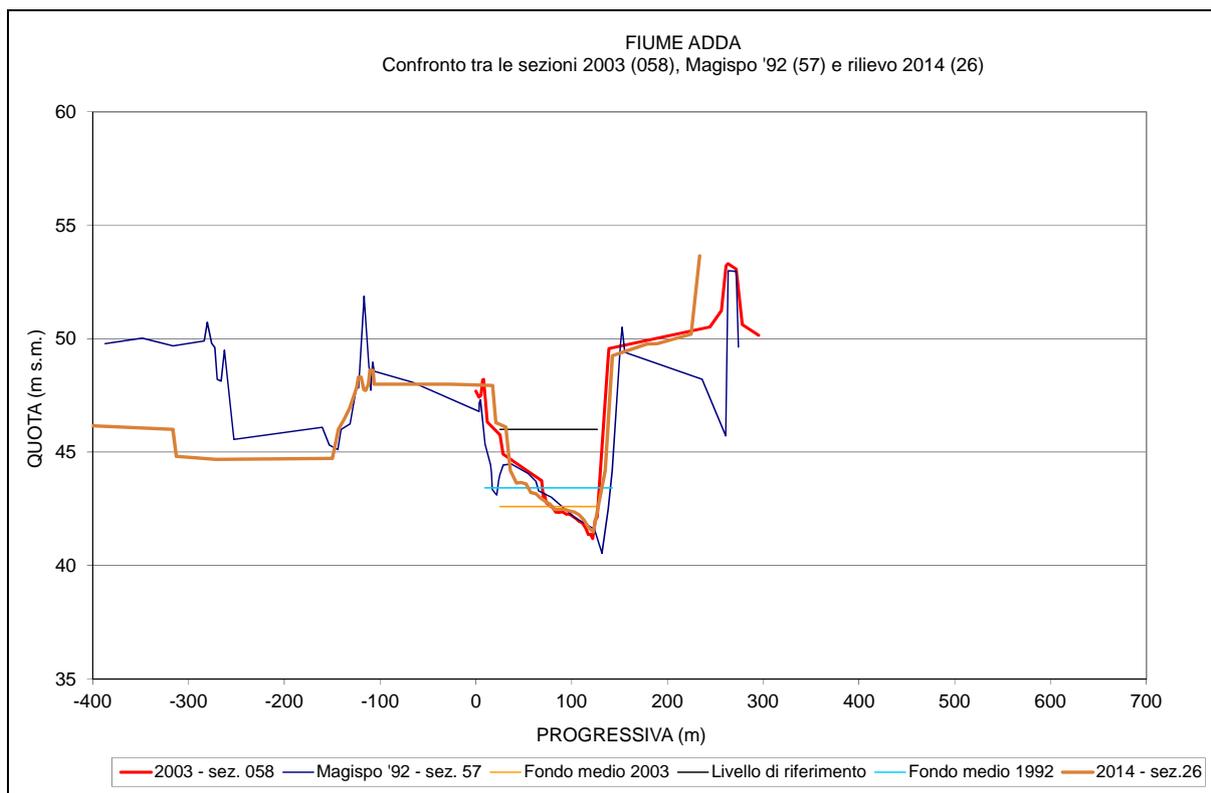


Figura 29 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 58 AIPO

In corrispondenza della sezione 58 AIPO, in prossimità dello scarico di valle del canale di derivazione in progetto, il fondo alveo e le sponde del f. Adda attuale risultano molto prossimi a quelli del 2003; il fondo alveo 1992 è invece più profondo di circa 1.00 m.

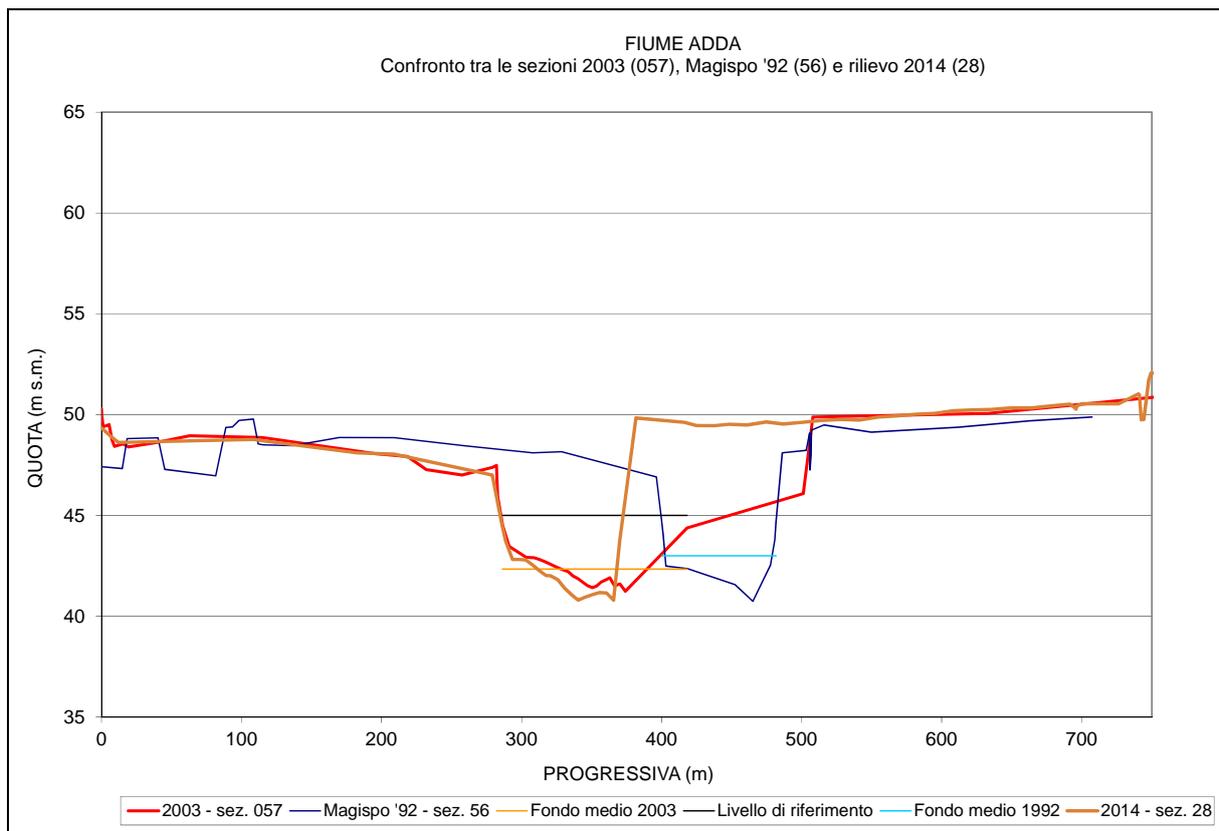


Figura 30 – Raffronto sezioni 1992-2003-2014. Sez. 57 AIPO

La sezione 57 AIPO, posta a valle del canale di restituzione dell'opera di derivazione in progetto, risulta confrontabile con quella del 2003 in termini di quota di fondo, mentre la sponda destra risulta notevolmente traslata verso il centro alveo rispetto a quella del 2003.

In conclusione, si ravvisa una generale tendenza al lieve abbassamento del fondo alveo nel tratto in esame di monte, fino al meandro di Gombito (da sezione 69 a sezione 64\_01), nel periodo 2003-2014, avvicinandosi attualmente alle quote di fondo registrate nel 1992.

All'interno del meandro di Gombito (da sezione 64\_01 a sezione 57) si evidenzia una sostanziale invarianza delle quote medie di fondo nell'arco temporale 2003-2014, con un andamento trasversale attuale tendenzialmente più pronunciato in termini di deposito all'interno curva e scavo all'esterno. Il tratto presenta quote di fondo alveo mediamente più superficiali di quelle registrate nel 1992.

In termini di divagazione planimetrica si conferma una robusta stabilità planimetrica del corso d'acqua, come confermato dalle foto satellitari riportate nel capitolo 5, per la presenza di numerose opere di difesa spondale esistenti. Gli sfasamenti evidenziati dalle sezioni trasversali riportate nel presente capitolo sono dovuti a tracciati non coincidenti in termini di progressiva e di inclinazione planimetrica rispetto all'asse del corso d'acqua.

## 7.2 Evoluzione planimetrica attuale e pregressa del corso del f. Adda e del f. Serio alla confluenza

### 7.2.1 Analisi immagini satellitari

Al fine di valutare l'evoluzione temporale del f. Adda nel tratto in oggetto e di riconoscerne i caratteri distintivi di comportamento morfologico, è stata sviluppata una ricerca della documentazione fotografica storica, la quale copre gli ultimi 26 anni, dal 1988 ad oggi. Si riportano nel seguito le immagini ricavate dal sito Geoportale Nazionale <http://www.pcn.minambiente.it/GN/> e dal software Google Earth, con inquadramenti su larga scala e su scala di dettaglio in corrispondenza del meandro su cui si interesserà l'opera in progetto, in grado di evidenziare distintamente una sostanziale stabilità dell'alveo inciso nel tratto in esame; si ravvisa qualche modesto spostamento delle barre all'interno dell'alveo inciso, senza però modifiche planimetriche significative del percorso d'alveo, come confermato anche dai risultati dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del 2005 e dal confronto delle sezioni trasversali, riportate nel paragrafo precedente.



Figura 31 – Ortofoto b/n anni 1988-1989. Inquadramento su larga scala



Figura 32 – Ortofoto b/n anni 1994-1998. Inquadramento su larga scala



Figura 33 – Ortofoto colore anno 2000. Inquadramento su larga scala



Figura 34 – Immagine satellitare colore 28 aprile 2003. Inquadramento su larga scala

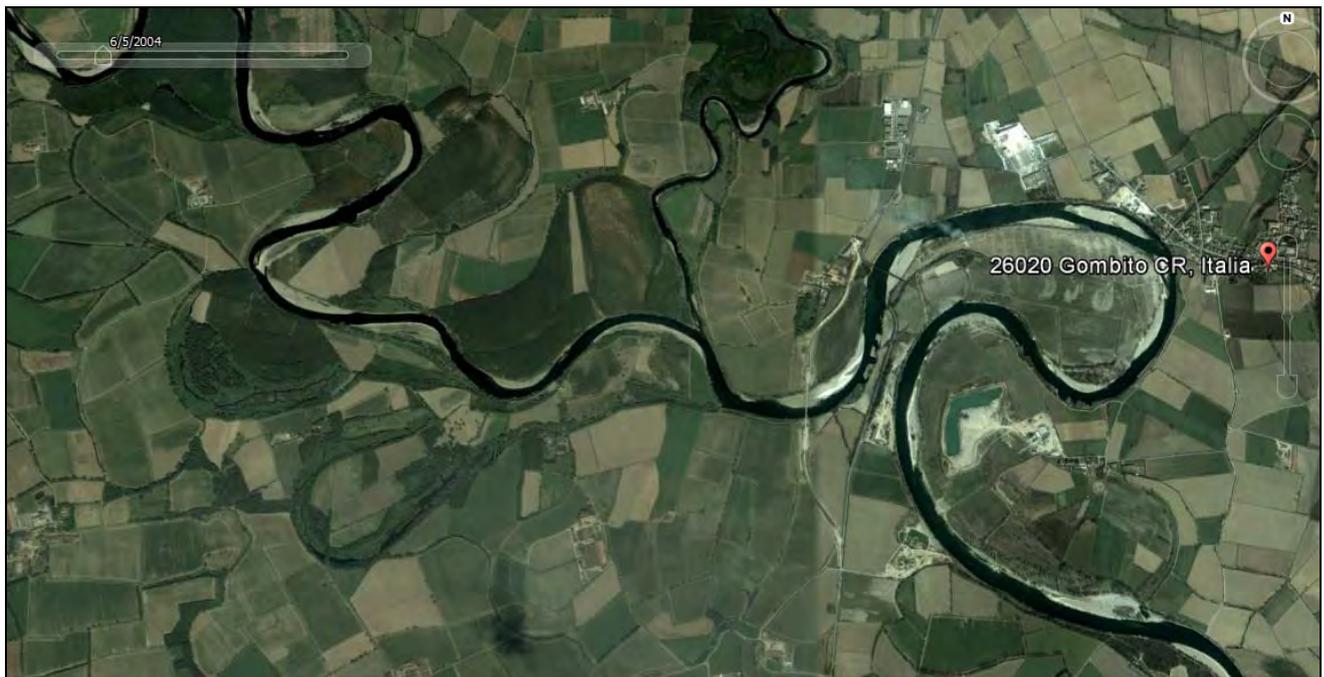


Figura 35 – Immagine satellitare colore 5 giugno 2004. Inquadramento su larga scala



Figura 36 – Immagine satellitare colore 21 luglio 2004. Inquadramento su larga scala



Figura 37 – Immagine satellitare colore 8 maggio 2005. Inquadramento su larga scala

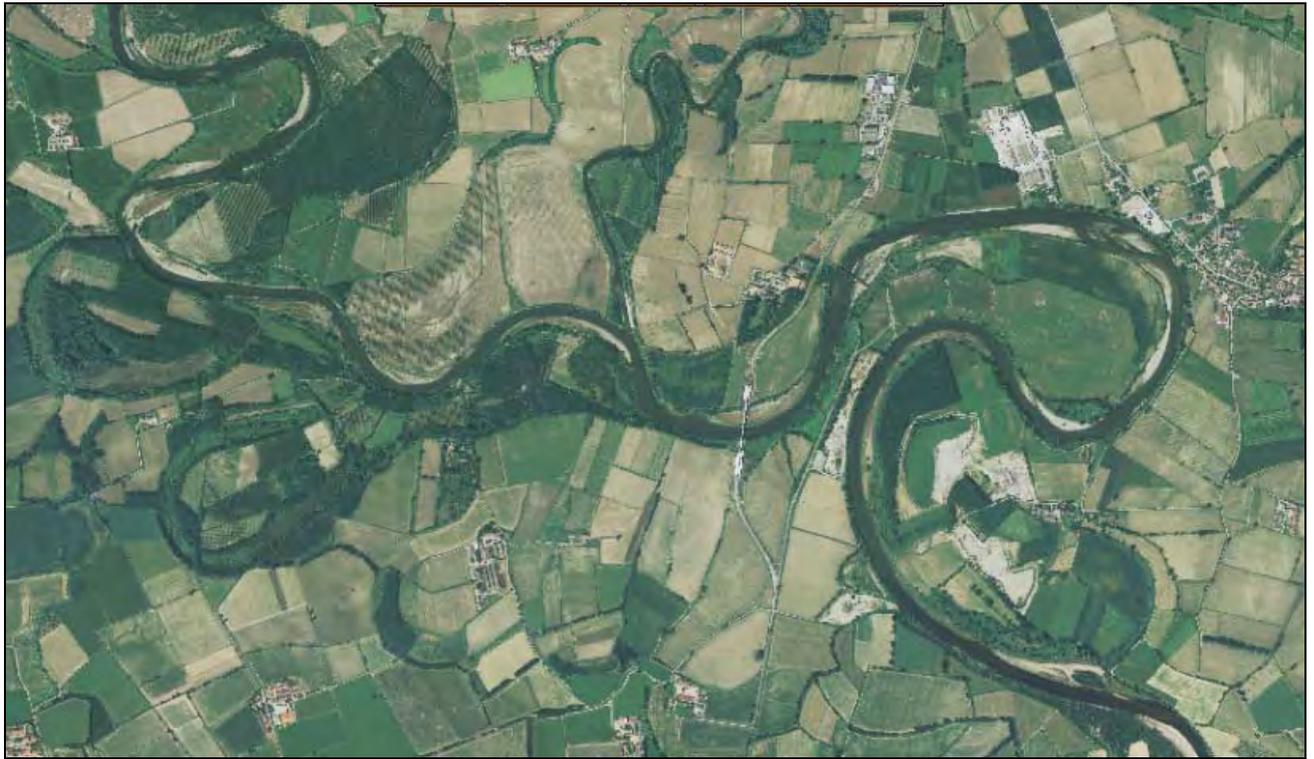


Figura 38 – Ortofoto colore 2006. Inquadramento su larga scala

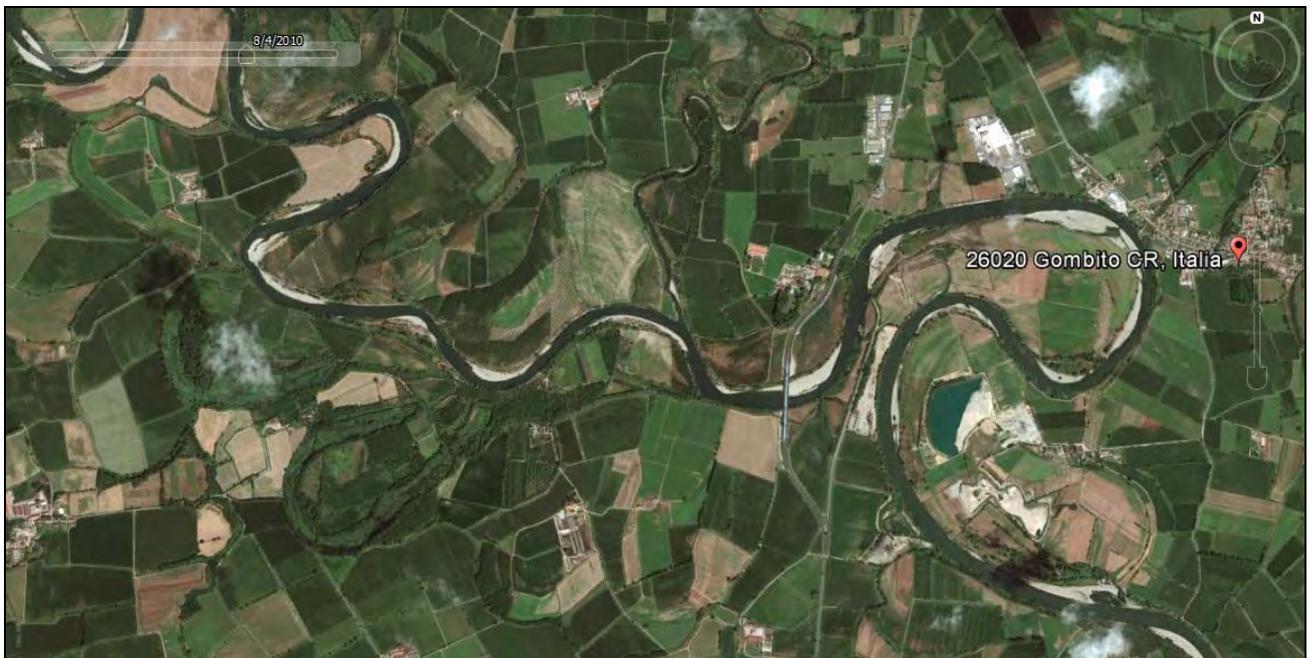


Figura 39 – Immagine satellitare colore 4 agosto 2010. Inquadramento su larga scala



Figura 40 – Immagine satellitare colore 21 aprile 2012. Inquadramento su larga scala



Figura 41 – Ortofoto colore 2012. Inquadramento su larga scala



Figura 42 – Ortofoto b/n anni 1988-1989. Inquadramento di dettaglio



Figura 43 – Ortofoto b/n anni 1994-1998. Inquadramento di dettaglio



Figura 44 – Ortofoto colore anno 2000. Inquadramento di dettaglio



Figura 45 – Immagine satellitare colore 28 aprile 2003. Inquadramento di dettaglio



Figura 46 – Immagine satellitare colore 5 giugno 2004. Inquadramento di dettaglio



Figura 47 – Immagine satellitare colore 21 luglio 2004. Inquadramento di dettaglio



Figura 48 – Immagine satellitare colore 8 maggio 2005. Inquadramento di dettaglio



Figura 49 – Ortofoto colore anno 2006. Inquadramento di dettaglio



Figura 50 – Immagine satellitare colore 4 agosto 2010. Inquadramento di dettaglio



Figura 51 – Immagine satellitare colore 21 aprile 2012. Inquadramento di dettaglio



Figura 52 – Ortofoto colore 2012. Inquadramento di dettaglio

### 7.2.2 Analisi Studio di Fattibilità Autorità di Bacino fiume Po

La relazione 3.1.1.6/1/1R dello Studio di fattibilità dell'AdBPo riporta le seguenti considerazioni (in corsivo).

*A monte di Pizzighettone, fino a Lodi (Tavole di analisi AD-03÷AD-07 dell'Elaborato 3.1.1.6./2/1C), il fiume assume un andamento meandriforme molto accentuato con numerosi meandri abbandonati, in alcuni casi, a seguito di "tagli" recenti (precedenti al 2002). Si tratta di una zona di circa 40-45 km di lunghezza (in asse al corso d'acqua) in cui il corso d'acqua, nel periodo di osservazione, ha subito numerose variazioni di percorso, alcune anche in anni molto recenti.*

*Successivamente al 1971 si osserva una decisa tendenza alla stabilizzazione dell'alveo per il tratto fino a monte della confluenza del fiume Serio, mentre la stessa tendenza si manifesta più chiaramente a partire dal 1980 (con alcune eccezioni), nel tratto fino a Lodi.*

*Il tratto compreso tra Pizzighettone e il meandro di Gombito evidenzia un andamento decisamente differente tra il periodo precedente il 1935 e quello successivo il 1954. In particolare si rilevano alcune importanti variazioni di percorso in corrispondenza della zona di Formigara dove, prima del 1935 era presente un meandro molto pronunciato verso nord-est. Successivamente al 1935 (probabilmente a seguito di un episodio di taglio) il corso d'acqua assume un andamento rettilineo. Anche nella zona della Cascina Paleari (situata a est di*

*Castiglione d'Adda) fino al 1935 erano presenti due meandri con andamento molto differente rispetto alle osservazioni successive, e i due meandri di Cascine Bosco Griffini e Vinzaschina e di Gombito, che mostrano un progressivo pronunciamento con progradazione verso valle anche dopo il 1954.*

*La zona della confluenza del Serio evidenzia una situazione piuttosto complessa, con il tratto, immediatamente a valle decisamente stabile dopo il 1954 e il settore dell'attuale confluenza stabile a partire dal 1971. La zona della confluenza tra il 1935 (periodo della massima progradazione verso nord del meandro) e il 1971 risulta infatti arretrata di circa 700 m, probabilmente per effetto di un salto di meandro.*

*Nel tratto a monte della confluenza del fiume Serio, si rileva la progressiva accentuazione delle forme meandriche che passano da un'iniziale forma sinuosa o molto sinuosa (1889) a una forma decisamente meandrica. In questo tratto si rileva un ulteriore avanzamento verso nord-est del meandro di Cascina del Boso, successivamente al rilievo del 1995, anno dopo cui si chiude il ramo di collegamento presente a metà del meandro (osservabile sulla CTR del 1995).*

*La zona della confluenza del f. Serio nel fiume Adda ha subito successivamente al 1935, un avanzamento verso sud e verso est. In precedenza infatti la zona della confluenza si trovava circa 870 m a nord dell'attuale (Tavola di analisi SE-01 dell'Elaborato 3.3.1.6./2/1C).*

*L'intero tratto terminale a valle dell'abitato di Montodine presentava, fino al 1935, un percorso spostato verso ovest rispetto a quello del periodo successivo.*

*Nello stesso tratto si osserva la presenza di numerose forme fluviali relitte.*

*In corrispondenza di Montodine (Tavola di analisi SE-02 dell'Elaborato 3.3.1.6./2/1C) il corso del fiume ha conservato, durante tutto il periodo di osservazione, lo stesso andamento.*

*Nel tratto compreso tra il meandro di Gombito e la zona della confluenza del fiume Serio (Tavola di sintesi AD-04 dell'Elaborato 3.1.1.6./2/2C), sono presenti numerose opere longitudinali che proteggono quasi completamente le sponde nei punti più critici.*

*Sono presenti numerose forme fluviali relitte prossime all'alveo riattivabili con tempi di ritorno inferiori a 20 anni e tra 20 e 200 anni.*

*Lo spazio di mobilità funzionale coincide con lo spazio di mobilità a breve termine a eccezione di alcuni brevi tratti in corrispondenza del nuovo ponte della S.P. 591 a bocca Serio.*

*Il corso d'acqua presenta, fino alla confluenza del Serio, una tendenza generale all'approfondimento. A monte della confluenza del Serio è presente un breve tratto (fino a valle di Lodi) in cui si è riscontrata la tendenza all'innalzamento.*

*La zona della confluenza del fiume Serio nel fiume Adda ha subito, successivamente al 1935, un avanzamento verso sud e verso est. In precedenza la zona della confluenza si trovava circa 870 m a nord dell'attuale punto di immissione (Tavola di sintesi SE-01 dell'Elaborato 3.3.1.6./2/2C). Un ampio settore a ovest della confluenza è potenzialmente erodibile.*

*A monte della confluenza, nel settore a valle dell'abitato di Montodine sono presenti diverse forme fluviali relitte riattivabili per eventi con tempi di ritorno inferiori a 20 anni e tra 20 e 200 anni e superiori a 200 anni.*

*Si osserva la presenza di alcuni tratti di sponda in erosione a valle di Montodine in destra e a ridosso di queste sono evidenziate alcune aree potenzialmente erodibili a breve e medio termine.*

*Lo spazio di mobilità funzionale è in questo tratto coincidente con lo spazio di mobilità a medio termine, a eccezione del tratto in corrispondenza di Montodine, dove si restringe all'alveo attuale.*

*Il fondo alveo è stabile.*

### 7.2.3 Conclusioni

L'analisi delle sezioni di rilievo attuali (2014) e delle foto aeree storiche a disposizione confermano quanto evidenziato nello Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino fiume Po: in termini planimetrici, il fiume Adda e il f. Serio nell'area in esame presentano un comportamento evolutivo assai stabile per la presenza delle numerose difese spondali esistenti.

### 7.3 Modificazioni altimetriche dell'alveo dei fiumi Adda e Serio

Lo studio di Fattibilità AdBPo riporta (in corsivo):

*L'esistenza di rilievi topografici eseguiti a distanza di 10 anni sui fiumi Adda e Serio consente di effettuare alcune considerazioni circa l'evoluzione recente (2002) dell'alveo per i due fiumi relativamente agli aspetti altimetrici.*

*Sono disponibili il rilievo eseguito dal Magistrato per il Po nel 1992 e il rilievo eseguito dall'Autorità di Bacino per il Po nel 2003. Il rilievo del 1992 riguarda interamente l'asta del fiume Adda.*

*L'analisi dei confronti tra le sezioni trasversali consente di evidenziare due tratti in cui si osserva un innalzamento del fondo alveo, dovuto al deposito di sedimenti. È il caso del tratto immediatamente a monte della confluenza del fiume Serio e di un secondo tratto in corrispondenza di Rivolta d'Adda. Nei restanti tratti l'alveo, a eccezione di oscillazioni puntuali, risulta sostanzialmente stabile nel periodo di confronto (1992-2003).*

*Il confronto tra le sezioni 1992 e 2003 rilevate sul fiume Serio consente di evidenziare una sostanziale stabilità del tratto confrontabile a valle del ponte di Mozzanica.*

ELEMENTI DI ANALISI					
FIUME ADDA. TRATTO CONFLUENZA NEL PO (km 295) –CASELLARIO (km 239)					
Variazioni del profilo di fondo alveo					Commenti
Erosione: Presente in due tratti compresi tra le sezioni trasversali 010-018 e 021-032	Approfondimento max. (m): 2.5	Periodo: 1992-2003			
Apporto di sedimenti: Modesto e solo da monte. Il fiume Serio non sembra essere influente.					
Caratteristiche morfologiche					
Alveotipo: meandriforme incassato					
Incidenza delle forme abbandonate connesse all'ambiente fluviale: la maggiore incidenza si ha in corrispondenza del meandro di Casellario che conserva, nel tratto di valle, una connessione con il fiume					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input checked="" type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Incidenza delle forme abbandonate digiunte dall'area fluviale: Si osserva la riattivazione dei meandri morti prossimi al corso d'acqua, quali quelli nella zona di Cavenago d'Adda, Abbazia Cerreto e Bertinico, anche in corrispondenza di piene di modesta entità					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input checked="" type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Ampiezza media dell'involuppo delle forme relitte: 2500-3500 m					
Erosione di sponda: modesti fenomeni al piede del terrazzo più interno					
Settore superiore <input type="checkbox"/>		Settore intermedio <input checked="" type="checkbox"/>		Settore inferiore <input checked="" type="checkbox"/>	
Variazione media della sezione incisa: -30- % Periodo: 1992-2002					
Caratteristiche morfometriche					
Periodo d'indagine:	Dato attuale	Dato pregresso (I)	Dato pregresso (II)	Evoluzione	
				%	m-km
Data	2002		1889		
Indice di ramificazione	1		1		
Indice di sinuosità	1.81		1.90		
Larghezza media full bank (m)	150		250	-40	-100
Lunghezza valle (km)	30.710		31.340	-2.05	-630
Lunghezza thalweg (km)	55.560		59.760	-7.6	-4200

**Caratteri del corso d'acqua**  
Il corso d'acqua nel tratto considerato ha un andamento meandriforme incassato. Sono presenti una soglia a circa 800 m dalla confluenza nel Po e una traversa a Pizzighetone.

**Stabilità morfologica**  
Si osserva la presenza di modesti fenomeni di erosione laterale nei rari tratti non difesi con opere longitudinali.

**Tendenza del fondo alveo**  
Dal confronto tra i rilievi del 1889 e quelli del 2002 emerge un restringimento dell'alveo che diviene via via più consistente procedendo verso la foce. Il punto di confluenza nel Po, nel periodo di confronto risulta essere arretrato verso ovest di circa 750 m. Dal confronto tra le sezioni trasversali dell'alveo 1992-2003 si osserva che:

- vi è tendenza all'approfondimento nei tratti compresi tra le sezioni 010-018 (2.5 m max) e tra le sez 021-032 (2.5 m max)
- vi è tendenza al deposito di sedimenti nel tratto compreso tra le sezioni 088-090 (1.2 m max), immediatamente a monte della confluenza del fiume Serio

**Elementi di morfologia fluviale non più attivi**  
In sponda destra è osservabile, a partire dalle cascate Montegiusto fino a Pizzighetone, un orlo di terrazzo che delimita la fascia delle forme fluviali relitte. In sinistra tale orlo non è presente in questa zona. Forme relitte di antichi meandri sono osservabili su entrambi i lati del corso d'acqua.

**Elementi di controllo della morfologia fluviale**  
Sono disponibili due rilievi di sezioni d'alveo con cadenza circa ogni 500 m eseguiti nel 1992 e nel 2003

ELEMENTI DI ANALISI						
FIUME SERIO. TRATTO CONFLUENZA NELL'ADDA (km 124) - PONTE DI MOZZANICA (km 86)						
Variazioni del profilo di fondo alveo					<b>Commenti</b> <b>Caratteri del corso d'acqua</b> Il corso d'acqua nel tratto considerato ha un andamento meandriforme incassato nella pianura. È presente una soglia al ponte di Montodine, una a valle e una a monte di Crema. Sono presenti una traversa a monte di Crema, una a Pianengo, e una tra Serngano e Casale Cremasco. <b>Stabilità morfologica</b> Il corso d'acqua ha subito una serie di migrazioni molto importanti nell'ultimo secolo con spostamenti di alcune centinaia di metri e con una notevole variazione nelle sequenze dei meandri. Risultano stabili nel periodo i tratti di Montodine, Crema e Mozzanica. <b>Tendenza del fondo alveo</b> Dal confronto tra i rilievi del 1889 e quelli del 2003 emerge un restringimento dell'alveo che diviene via via più consistente procedendo verso la foce. Dal confronto tra le sezioni trasversali dell'alveo 1992-2003 si osserva che: <ul style="list-style-type: none"> <li>• vi è tendenza alla stabilità nel tratto terminale, tra le sezioni 001-030.</li> </ul> <b>Elementi di morfologia fluviale non più attivi</b> Sono presenti numerose forme fluviali antiche disgiunte dall'alveo riattivabili con tempi di ritorno superiori a 20 anni, nel tratto considerato. <b>Elementi di controllo della morfologia fluviale</b> Sono disponibili due rilievi di sezioni d'alveo con cadenza circa ogni 500 m eseguiti nel 1992 e nel 2003 sull'intero tratto	
Erosione:	nel tratto tra i km 108+500 e 86	Approfondimento max. (m):	2.5	Periodo:		1992-2003
Ripascimento:	Assente					
<b>Caratteristiche morfologiche</b>						
Alveotipo: E - meandriforme						
Incidenza delle forme abbandonate connesse all'ambiente fluviale: Assente						
Tipologie:	Paleovalvei meandriformi	<input type="checkbox"/>	Paleovalvei sinuosi o subrettilinei	<input type="checkbox"/>	Rami secondari	<input type="checkbox"/>
Incidenza delle forme abbandonate digiunte dall'area fluviale:						
Tipologie:	Paleovalvei meandriformi	<input checked="" type="checkbox"/>	Paleovalvei sinuosi o subrettilinei	<input type="checkbox"/>	Rami secondari	<input type="checkbox"/>
Ampiezza media dell'involuppo delle forme relitte:						
Erosione di sponda: Potenziale solo in corrispondenza della confluenza in Adda						
Settore superiore		<input type="checkbox"/>	Settore intermedio	<input type="checkbox"/>	Settore inferiore	<input checked="" type="checkbox"/>
Variazione media della sezione incisa: 20-30 %      Periodo: 1889-2002						
<b>Caratteristiche morfometriche</b>						
Periodo d'indagine:	Dato attuale	Dato pregresso (I)	Dato pregresso (II)	Evoluzione		
				%	m-km	
Data	2002		1889			
Indice di ramificazione	1		1			
Indice di sinuosità	1.53		1.41			
Larghezza media full bank (m)	40-50		70-80	-28.5/-37.5	-20/-30	
Lunghezza valle (km)	24.985		24.890	0.38	95	
Lunghezza thalweg (km)	38,240		35,160	8.75	3080	

### 7.3.1 Conclusioni

L'analisi delle sezioni di rilievo attuali (2014) ha confermato la sostanziale stabilità del fondo alveo negli anni recenti (2003-2014), con leggera tendenza all'abbassamento del fondo nel tratto a monte del meandro di Gombito. Tali quote risultano mediamente più superficiali di quelle rilevate nel 1992.

## 7.4 Cartografia delle caratteristiche morfologiche dell'alveo

L'elaborato 3.1.1.6/2/1C dello Studio di fattibilità AdBPo riporta le seguenti legenda e planimetrie di analisi.



Figura 53 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo. Legenda

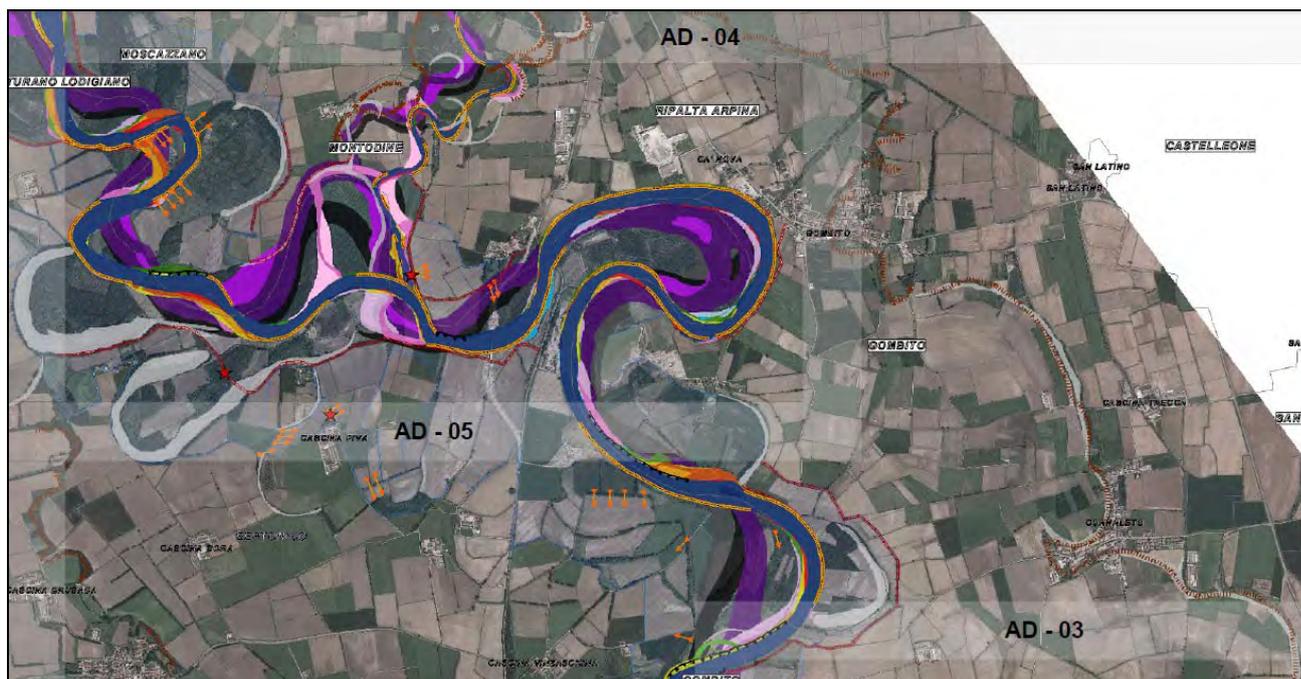


Figura 54 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo (SC 1:25000). Tavola AD04

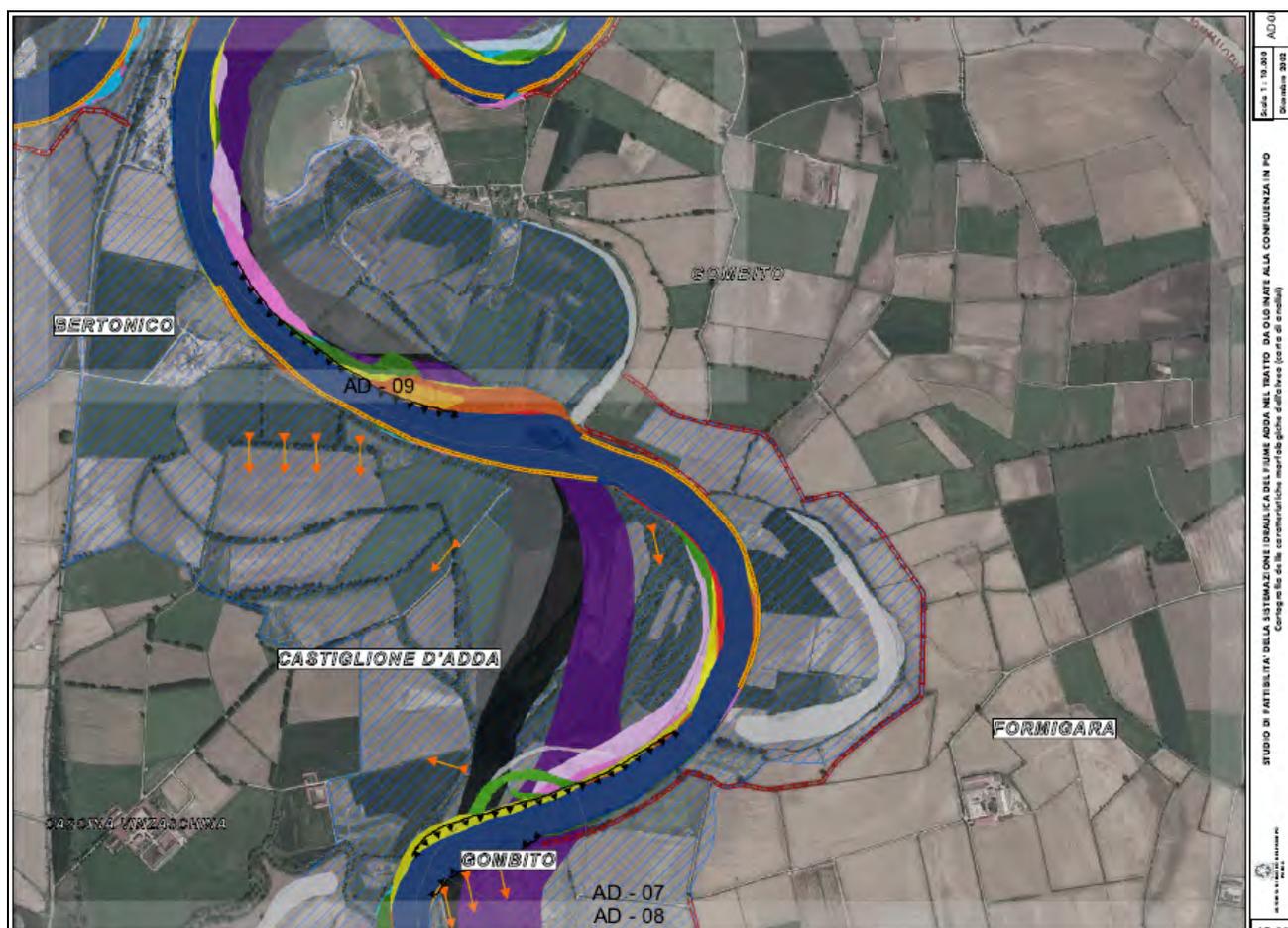


Figura 55 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo (SC 1:10000). Tavola AD08

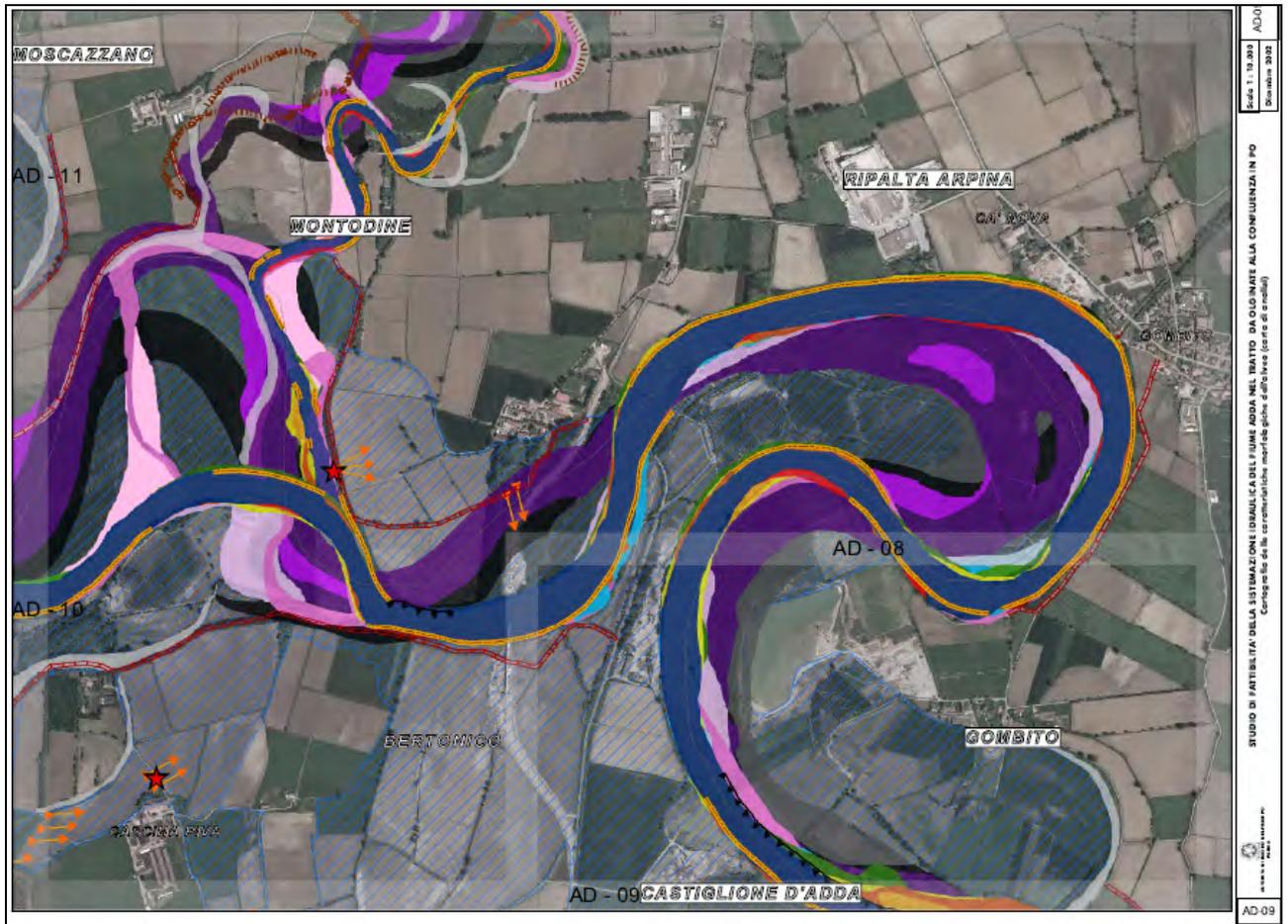


Figura 56 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo (SC 1:10000). Tavola AD09



Figura 57 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo (SC 1:10000). Tavola AD10

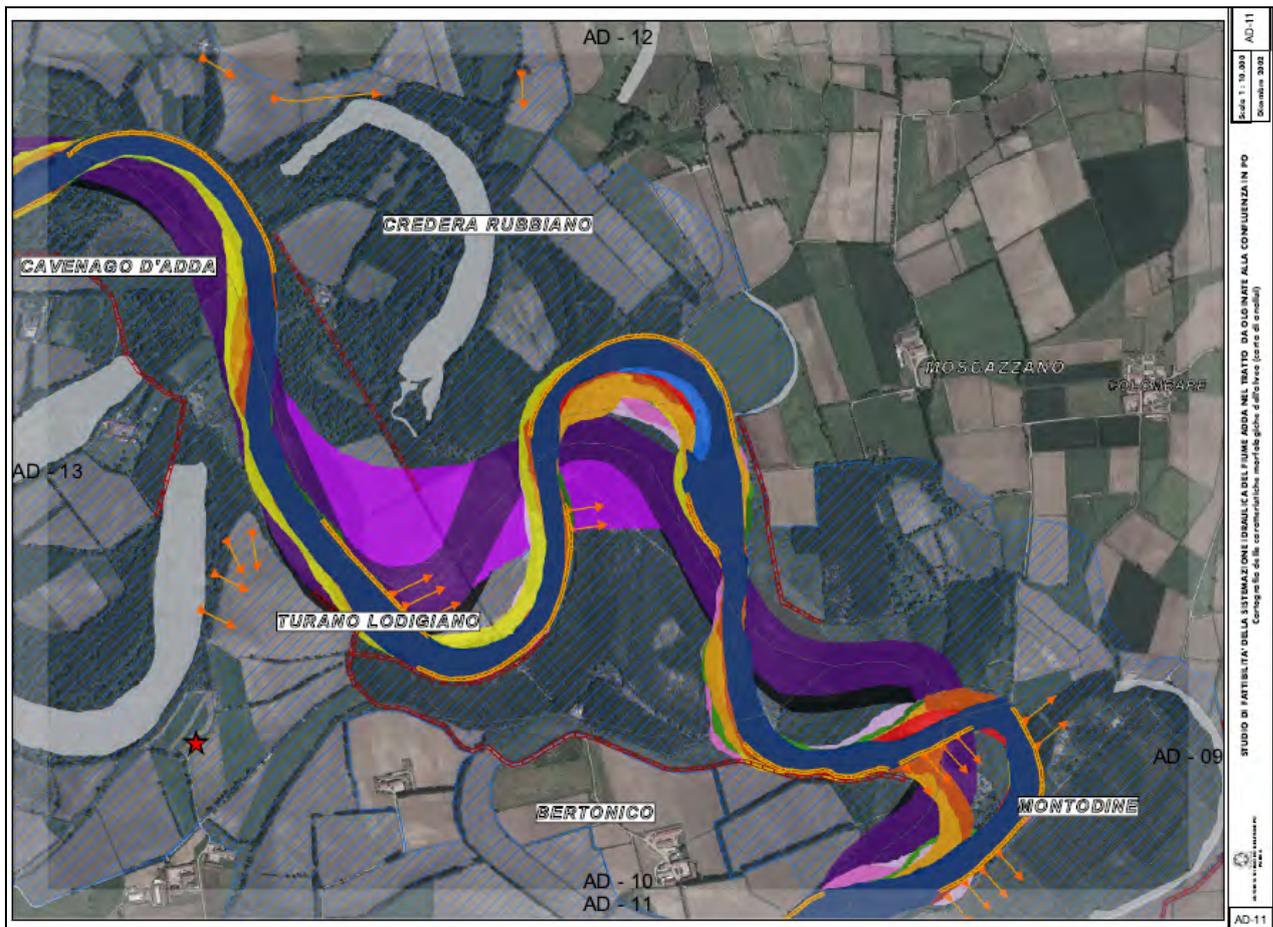


Figura 58 – Cartografia caratteristiche morfologiche dell'alveo (SC 1:10000). Tavola AD11

## Conclusioni

Le planimetrie delle caratteristiche morfologiche dell'alveo redatte nell'ambito dello Studio di Fattibilità dell'AdBPo e sopra riportate evidenziano che, in corrispondenza del meandro di Gombito, le più recenti divagazioni planimetriche risalgono al 1935, confermando di fatto la stabilità del tratto in esame in ragione della presenza delle numerose difese spondali esistenti.

## 7.5 Cartografia delle caratteristiche evolutive dell'alveo

L'elaborato 3.1.1.6/2/2C dello Studio di fattibilità AdBPo riporta la seguente legenda e le relative planimetrie di analisi.



Figura 59 – Cartografia caratteristiche evolutive dell'alveo. Legenda





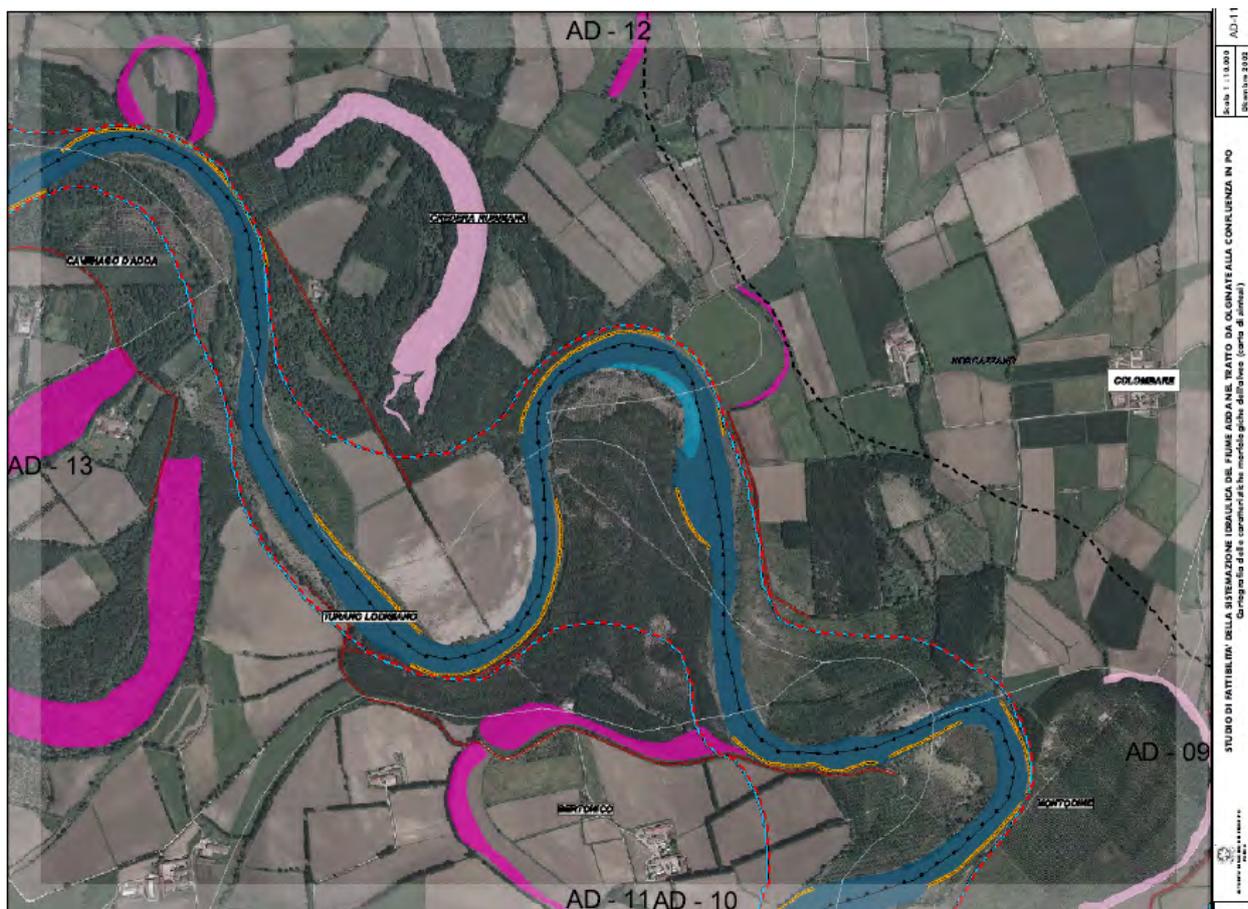


Figura 64 – Cartografia caratteristiche evolutive dell'alveo (SC 1:10000). Tavola AD011

Nella relazione 3.1.1.6/4/1R Relazione di sintesi dell'attività "Descrizione delle tendenze evolutive" – Studio di fattibilità AdBPo, si riporta:

*Nel tratto che comprende il meandro di Gombito e la zona della confluenza del fiume Serio (Tavola di sintesi AD-04 dell'Elaborato 3.1.1.6./2/2C) sono presenti numerose opere longitudinali che proteggono quasi completamente le sponde nei punti più critici.*

*Sono presenti numerose forme fluviali relitte prossime all'alveo riattivabili con tempi di ritorno inferiori a 20 anni e tra 20 e 200 anni.*

*Lo spazio di mobilità funzionale coincide con lo spazio di mobilità a breve termine a eccezione di alcuni brevi tratti in corrispondenza del nuovo ponte della S.P. 591 a bocca Serio.*

*Il corso d'acqua presenta, fino alla confluenza del Serio, una tendenza generale all'approfondimento. A monte della confluenza del Serio è presente un breve tratto (fino a valle di Lodi) in cui si è riscontrata la tendenza all'innalzamento.*

*La zona della confluenza del fiume Serio nel fiume Adda ha subito, successivamente al 1935, un avanzamento verso sud e verso est. In precedenza la zona della confluenza si trovava circa 870 m a nord dell'attuale punto di immissione (Tavola di sintesi SE-01 dell'Elaborato 3.3.1.6./2/2C). Un ampio settore a ovest della confluenza è potenzialmente erodibile.*

*A monte della confluenza, nel settore a valle dell'abitato di Montodine sono presenti diverse forme fluviali relitte riattivabili per eventi con tempi di ritorno inferiori a 20 anni e tra 20 e 200 anni e superiori a 200 anni.*

ELEMENTI DI ANALISI					
FIUME ADDA. TRATTO CONFLUENZA NEL PO (km 295) –CASELLARIO (km 239)					
Variazioni del profilo di fondo alveo			Commenti		
Erosione: Presente in due tratti compresi tra le sezioni trasversali 010-018 e 021-032	Approfondimento max. (m): 2.5	Periodo: 1992-2003	<p><b>Caratteri del corso d'acqua</b> Il corso d'acqua nel tratto considerato ha un andamento meandriforme incassato. Sono presenti una soglia a circa 800 m dalla confluenza nel Po e una traversa a Pizzighetone.</p> <p><b>Stabilità morfologica</b> Si osserva la presenza di modesti fenomeni di erosione laterale nei rari tratti non difesi con opere longitudinali.</p> <p><b>Tendenza del fondo alveo</b> Dal confronto tra i rilievi del 1889 e quelli del 2002 emerge un restringimento dell'alveo che diviene via via più consistente procedendo verso la foce. Il punto di confluenza nel Po, nel periodo di confronto risulta essere arretrato verso ovest di circa 750 m. Dal confronto tra le sezioni trasversali dell'alveo 1992-2003 si osserva che:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>vi è tendenza all'approfondimento nei tratti compresi tra le sezioni 010-018 (2.5 m max) e tra le sez 021-032 (2.5 m max)</li> <li>vi è tendenza al deposito di sedimenti nel tratto compreso tra le sezioni 069-090 (1.2 m max), immediatamente a monte della confluenza del fiume Serio</li> </ul> <p><b>Elementi di morfologia fluviale non più attivi</b> In sponda destra è osservabile, a partire dalle cascate Montegiusto fino a Pizzighetone, un orlo di terrazzo che delimita la fascia delle forme fluviali relitte. In sinistra tale orlo non è presente in questa zona. Forme relitte di antichi meandri sono osservabili su entrambi i lati del corso d'acqua.</p> <p><b>Elementi di controllo della morfologia fluviale</b> Sono disponibili due rilievi di sezioni d'alveo con cadenza circa ogni 500 m eseguiti nel 1992 e nel 2003</p>		
Apporto di sedimenti: Modesto e solo da monte. Il fiume Serio non sembra essere influente.					
Caratteristiche morfologiche					
Alveotipo: meandriforme incassato					
Incidenza delle forme abbandonate connesse all'ambiente fluviale: la maggiore incidenza si ha in corrispondenza del meandro di Casellario che conserva, nel tratto di valle, una connessione con il fiume					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input checked="" type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Incidenza delle forme abbandonate digiunte dall'area fluviale: Si osserva la riattivazione dei meandri morti prossimi al corso d'acqua, quali quelli nella zona di Cavenago d'Adda, Abbazia Cerreto e Bertonico, anche in corrispondenza di piene di modesta entità					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input checked="" type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Ampiezza media dell'inviluppo delle forme relitte: 2500-3500 m					
Erosione di sponda: modesti fenomeni al piede del terrazzo più interno					
Settore superiore <input type="checkbox"/> Settore intermedio <input checked="" type="checkbox"/> Settore inferiore <input checked="" type="checkbox"/>					
Variazione media della sezione incisa: -30- % Periodo: 1992-2002					
Caratteristiche morfometriche					
Periodo d'indagine:	Dato attuale	Dato pregresso (I)	Dato pregresso (II)	Evoluzione	
				%	m-km
Data	2002		1889		
Indice di ramificazione	1		1		
Indice di sinuosità	1.81		1.90		
Larghezza media full bank (m)	150		250	-40	-100
Lunghezza valle (km)	30.710		31.340	-2.05	-630
Lunghezza thalweg (km)	55.560		59.760	-7.6	-4200

ELEMENTI DI ANALISI					
FIUME SERIO. TRATTO CONFLUENZA NELL'ADDA (km 124) - PONTE DI MOZZANICA (km 86)					
Variazioni del profilo di fondo alveo			Commenti		
Erosione: nel tratto tra i km 108+500 e 86	Approfondimento max. (m): 2.5	Periodo: 1992-2003	<p><b>Caratteri del corso d'acqua</b> Il corso d'acqua nel tratto considerato ha un andamento meandriforme incassato nella pianura. È presente una soglia al ponte di Montodine, una a valle e una a monte di Crema. Sono presenti una traversa a monte di Crema, una a Pianengo, e una tra Sernano e Casale Cremasco.</p> <p><b>Stabilità morfologica</b> Il corso d'acqua ha subito una serie di migrazioni molto importanti nell'ultimo secolo con spostamenti di alcune centinaia di metri e con una notevole variazione nelle sequenze dei meandri. Risultano stabili nel periodo i tratti di Montodine, Crema e Mozzanica.</p> <p><b>Tendenza del fondo alveo</b> Dal confronto tra i rilievi del 1889 e quelli del 2003 emerge un restringimento dell'alveo che diviene via via più consistente procedendo verso la foce. Dal confronto tra le sezioni trasversali dell'alveo 1992-2003 si osserva che:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>vi è tendenza alla stabilità nel tratto terminale, tra le sezioni 001-030.</li> </ul> <p><b>Elementi di morfologia fluviale non più attivi</b> Sono presenti numerose forme fluviali antiche digiunte dall'alveo riattivabili con tempi di ritorno superiori a 20 anni, nel tratto considerato</p> <p><b>Elementi di controllo della morfologia fluviale</b> Sono disponibili due rilievi di sezioni d'alveo con cadenza circa ogni 500 m eseguiti nel 1992 e nel 2003 sull'intero tratto</p>		
Ripascimento: Assente					
Caratteristiche morfologiche					
Alveotipo: E - meandriforme					
Incidenza delle forme abbandonate connesse all'ambiente fluviale: Assente					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Incidenza delle forme abbandonate digiunte dall'area fluviale:					
Tipologie: Paleovalvei meandriformi <input checked="" type="checkbox"/> Paleovalvei sinuosi o subrettilinei <input type="checkbox"/> Rami secondari <input type="checkbox"/>					
Ampiezza media dell'inviluppo delle forme relitte:					
Erosione di sponda: Potenziale solo in corrispondenza della confluenza in Adda					
Settore superiore <input type="checkbox"/> Settore intermedio <input type="checkbox"/> Settore inferiore <input checked="" type="checkbox"/>					
Variazione media della sezione incisa: 20-30 % Periodo: 1889-2002					
Caratteristiche morfometriche					
Periodo d'indagine:	Dato attuale	Dato pregresso (I)	Dato pregresso (II)	Evoluzione	
				%	m-km
Data	2002		1889		
Indice di ramificazione	1		1		
Indice di sinuosità	1.53		1.41		
Larghezza media full bank (m)	40-50		70-80	-28.5/-37.5	-20/-30
Lunghezza valle (km)	24.985		24.890	0.38	95
Lunghezza thalweg (km)	38.240		35.160	8.75	3080

## Conclusioni

Le immagini satellitari riportate in capitolo 7.2.1 confermano la sostanziale stabilità planimetrica del tratto in esame, particolarmente evidente in corrispondenza del meandro di Gombito nel quale le difese spondali e i rilevati arginali bloccano ogni possibilità di

divagazione del f. Adda. In termini di modifiche di quote di fondo alveo si faccia riferimento alle conclusioni del paragrafo 7.1.

## **8. MODELLAZIONE BIDIMENSIONALE IDRAULICA E DI TRASPORTO SOLIDO**

Al fine di analizzare gli effetti che si verificano durante i processi di inondazione, determinati dalle piene ordinarie e straordinarie, nel tratto di Fiume Adda in corrispondenza dell'opera in progetto, e di prevedere l'evoluzione del fondo alveo e delle sponde dal punto di vista morfologico, a seguito dell'effetto idrodinamico dell'acqua del fiume, si è utilizzato il modello numerico bidimensionale ai volumi finiti BASEMENT (ETH Zurich).

### **8.1 Finalità dello studio idrodinamico e morfologico**

Lo studio idrodinamico è finalizzato all'individuazione delle caratteristiche di deflusso delle piene del Fiume Adda e del Fiume Serio nella porzione di territorio interessata (alveo e golene).

Lo studio morfologico è finalizzato all'analisi dell'evoluzione geometrica dell'alveo in fase di piena, e quindi del movimento dei sedimenti.

In questo modo, si intende prevedere se e dove si potrebbero verificare effetti di erosione o deposito, in caso di evento di piena straordinario, analizzando gli eventuali effetti negativi sul fondo e sulle sponde del corso d'acqua, negli scenari di stato attuale e di progetto.

### **8.2 Descrizione Modello BASEMENT**

Il modello BASEMENT (BASic EnvironMENT for simulation of environmental and natural hazard) è stato sviluppato dalla WAV (Swiss Laboratory of Hydraulics, Hydrology and Glaciology) in collaborazione con la ETH (Swiss Federal Technology Laboratory Zurich); la versione utilizzata è la v.2.3.

Esso è un modello bidimensionale ai volumi finiti finalizzato al calcolo di scenari fluviali, idraulici e morfologici, liberamente distribuito attraverso Internet.

Le leggi che stanno alla base delle dinamiche fluide e dei sedimenti sono le equazioni della conservazione della massa, del momento e dell'energia applicate ad un volume contenuto all'interno di una superficie.

Al fine di garantire condizioni di stabilità modellistica, si utilizza la forma integrale delle equazioni e non la forma differenziale.

Il metodo ai volumi finiti è concettualmente differente da quello alle differenze finite.

Il campo di flusso (dominio) è suddiviso, come per il metodo agli elementi finiti, in una serie di celle che non si sovrappongono, a coprire il dominio completo all'interno del quale sono applicate le equazioni.

In ogni cella sono applicate le leggi della conservazione per determinare le variabili in punti discreti della cella, denominati nodi, che possono essere definiti come centro della cella oppure come vertice della cella.

### **8.3 Costruzione della mesh di calcolo**

La porzione di territorio, ritenuta significativa per la modellazione bidimensionale, è quella compresa all'interno dei limiti di fascia B del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino di Parma, nel tratto di Fiume Adda fino a 4.4. km a monte della confluenza con il Fiume Serio (5.5 km a monte dell'opera in progetto) e fino a 7.7 km a valle di essa (6.6 km a valle dell'opera in progetto) e nel tratto di Fiume Serio fino a 3.7 km a monte di essa.

La porzione di territorio coperta dal modello è riportata in Figura 65; in essa sono indicati, in blu, il limite di Fascia B PAI ed, in rosso, la definizione degli elementi della mesh.

La *mesh* di calcolo è stata realizzata discretizzando il territorio in una serie di elementi quadrangolari e triangolari al fine di descriverne con semplificazione geometrica l'andamento piano-altimetrico, in modo il più attinente possibile alla realtà.

Tale discretizzazione risulta più di dettaglio nelle zone di maggiore variazione topografica (alveo e zone limitrofe) e nelle zone dove il comportamento idrodinamico del corso d'acqua risulta più complesso.

Essa è stata costruita con il programma SMS (Surfacewater Modelling System) sviluppato dalla Brigham Young University.

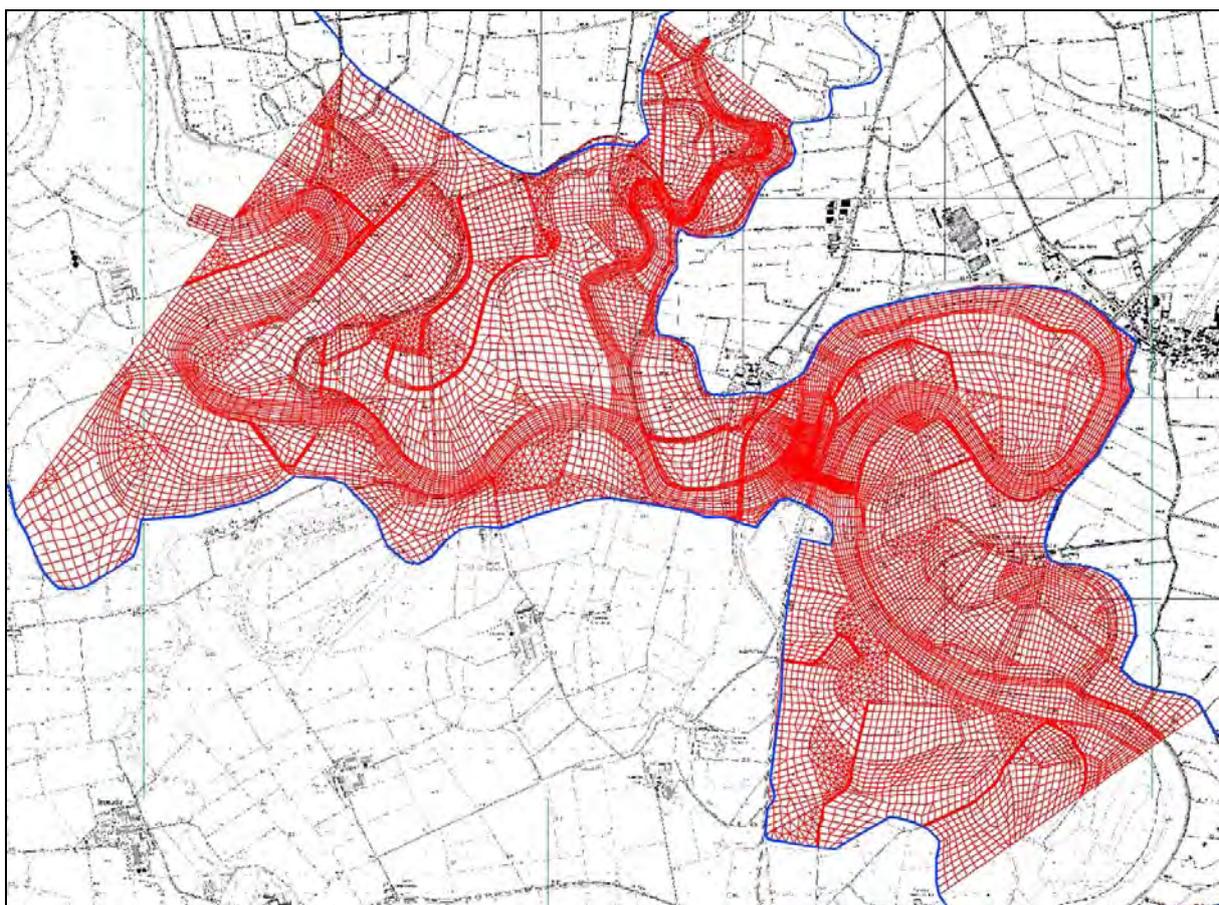


Figura 65 – Mesh di calcolo modello BASEMENT

Ogni nodo della mesh risulta quotato altimetricamente e georeferenziato.

La mesh è costituita da 20700 elementi e 19200 nodi circa.

Le quote dei nodi sono state estratte dai TIN appositamente realizzati.

## 8.4 Condizioni al contorno

Come condizione al contorno di monte, sono state considerate le portate liquide, provenienti dal Fiume Adda e dal Fiume Serio, a monte confluenza, descritte negli idrogrammi nel seguito riportati, per gli eventi di piena con i tempi di ritorno considerati: 20, 100, 200 e 500 anni.

### 8.4.1 Portate liquide

Per quanto riguarda le portate idriche e ponendo l'attenzione in particolare sull'evento duecentennale, il P.A.I. indica, come portate di riferimento massime ad esso relative, i valori di 1800 m<sup>3</sup>/s per il Fiume Adda (sez. 68 PAI) e 720 m<sup>3</sup>/s per il Fiume Serio (sez. 5 PAI), immediatamente a monte della confluenza; tali valori sono riferiti agli eventi duecentennali dei singoli corsi d'acqua e non all'evento di concomitanza.

A valle confluenza, la stazione di riferimento sul f. Adda è Pizzighettone (sez. 30 PAI), in corrispondenza della quale la portata duecentennale è 2000 m<sup>3</sup>/s.

Dalla differenza delle portate fiume Adda a monte confluenza 1800 (m<sup>3</sup>/s) e a valle confluenza (2000 m<sup>3</sup>/s) è possibile assegnare la portata contributo del f. Serio all'evento duecentennale del f. Adda; tale contributo è quindi stimato in 200 m<sup>3</sup>/s.

Nello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del Fiume Adda da Olginate alla confluenza in Po e del Fiume Serio da Parre alla sua foce in Adda" si indica, come portata duecentennale di riferimento per il Fiume Adda a Bocca Serio (valle confluenza) il valore di 1950 m<sup>3</sup>/s, circa.

Le simulazioni che verranno realizzate pongono l'attenzione sulla piena del Fiume Adda, in quanto la centrale idroelettrica verrà realizzata lungo di esso 5.5 km a valle della confluenza. Si è scelto quindi di utilizzare come piena di riferimento quella dell'Adda; il contributo del Fiume Serio, a monte confluenza, va a sommarsi a quello dell'Adda, sempre a monte confluenza, in maniera da massimizzare la portata di picco sia a monte che a valle di essa lungo l'Adda.

Come portata di riferimento f. Adda, a valle confluenza, si è utilizzato il valore di 1950 m<sup>3</sup>/s, di cui nello "Studio di Fattibilità" dell'Autorità di Bacino.

Il medesimo studio, nell'elaborato 3.1.2.2./1/1R, riporta (in fig 1.1.1) le onde di piena dell'Adda per TR=200 anni nella stazione di "Confluenza Serio".

Al fine di parzializzare la portata complessiva nei due tratti di Adda e Serio a monte della confluenza, si sono utilizzati idrogrammi ricostruiti a partire dalla suddetta onda di piena, scalati sui valori di picco di portata pari a 1750 m<sup>3</sup>/s, per quanto riguarda l'Adda, e 200 m<sup>3</sup>/s, per quanto riguarda il Serio; in questo modo si è ottenuto un idrogramma complessivo (somma dei due) avente picco a 1950 m<sup>3</sup>/s, corrispondente al valore di piena relativo al Fiume Adda a valle confluenza, secondo lo "Studio di Fattibilità".

Il valore relativo al Fiume Serio è stato assunto sulla base delle valutazioni sopra espresse inerenti le portate PAI lungo il f. Adda a monte e valle confluenza con il f. Serio.

Seguendo gli stessi ragionamenti si sono valutate le portate di piena ventennali, centennali, cinquecentennali ed i relativi idrogrammi parziali.

Per quanto riguarda il Fiume Adda, a Bocca di Serio, lo "Studio di Fattibilità" riporta una portata pari a 1410 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 20 anni, 1765 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 100 anni e 2166 m<sup>3</sup>/s per tempo di ritorno 500 anni; tali valori comprendono anche l'apporto di portata dal fiume Serio.

Al fine di valutare la portata di quest'ultimo, si è considerato che, durante la piena dell'Adda, il suo contributo sia pari a circa il 6-10% del totale; tale percentuale è stata valutata alla luce dei valori di portata dell'Adda riportati nel PAI a monte ed a valle della confluenza ed alla luce di quanto verificatosi durante la piena del 2002.

Per quanto riguarda l'evento di piena con tempo di ritorno 20 anni, la portata di picco del Fiume Adda utilizzata è 1325 m<sup>3</sup>/s, quella del Fiume Serio è 85 m<sup>3</sup>/s; la portata massima dell'idrogramma cumulato è pari a 1410 m<sup>3</sup>/s.

Per quanto riguarda l'evento di piena con tempo di ritorno 100 anni, la portata di picco del Fiume Adda utilizzata è 1660 m<sup>3</sup>/s, quella del Fiume Serio è 105 m<sup>3</sup>/s; la portata massima dell'idrogramma cumulato è pari a 1765 m<sup>3</sup>/s.

Per quanto riguarda l'evento di piena con tempo di ritorno 500 anni, la portata di picco del Fiume Adda utilizzata è 1950 m<sup>3</sup>/s, quella del Fiume Serio è 215 m<sup>3</sup>/s; la portata massima dell'idrogramma cumulato è pari a 2165 m<sup>3</sup>/s.

Nelle seguenti figure, si riportano gli idrogrammi parziali e l'idrogramma totale utilizzati, modulati sull'onda di piena di cui allo "Studio di fattibilità AdBPo".

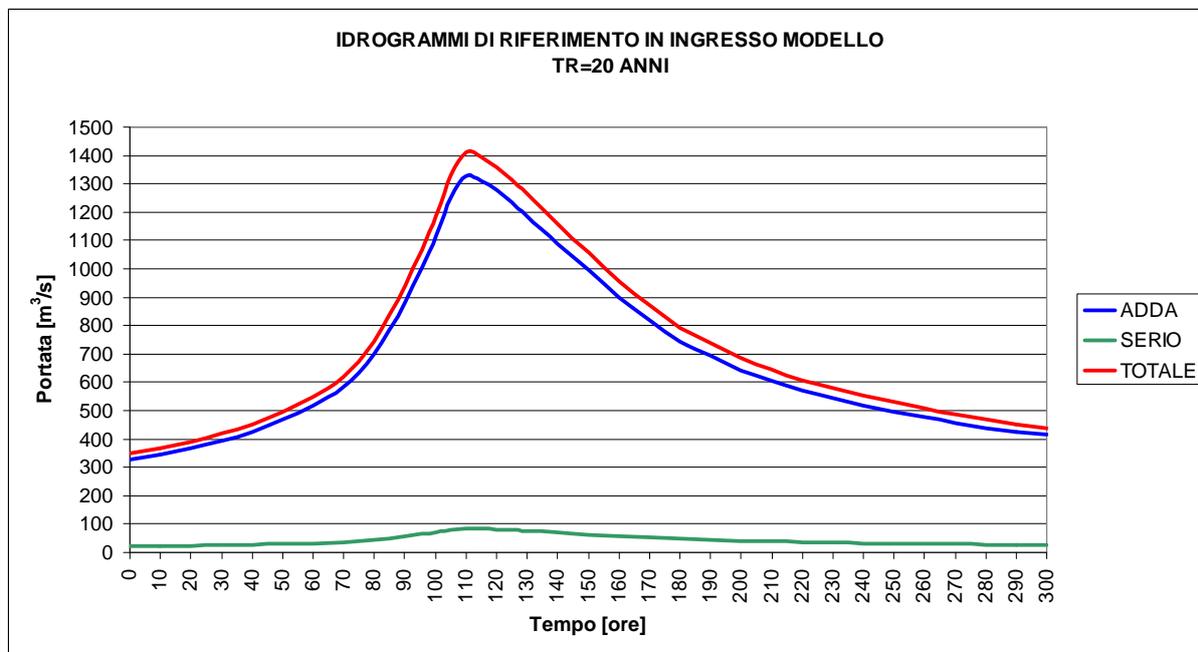


Figura 66 –TR=20 anni - Idrogrammi di piena di riferimento in ingresso modello

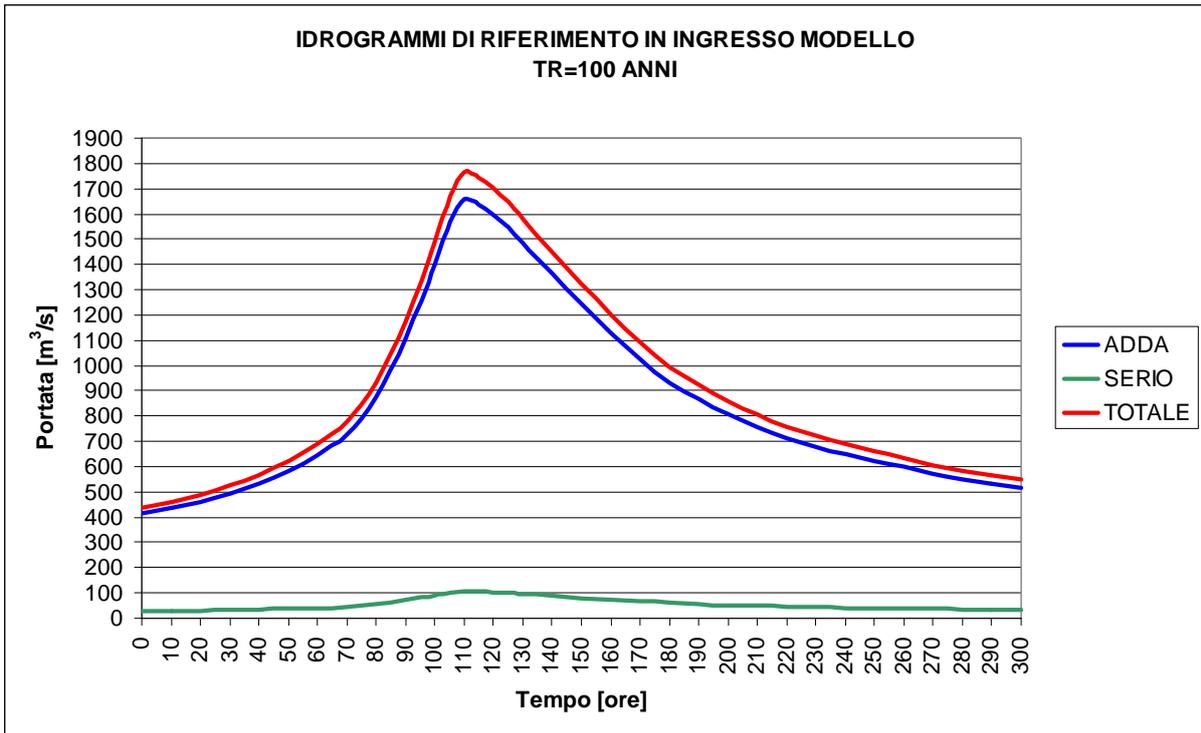


Figura 67 –TR=100 anni - Idrogrammi di piena di riferimento in ingresso modello

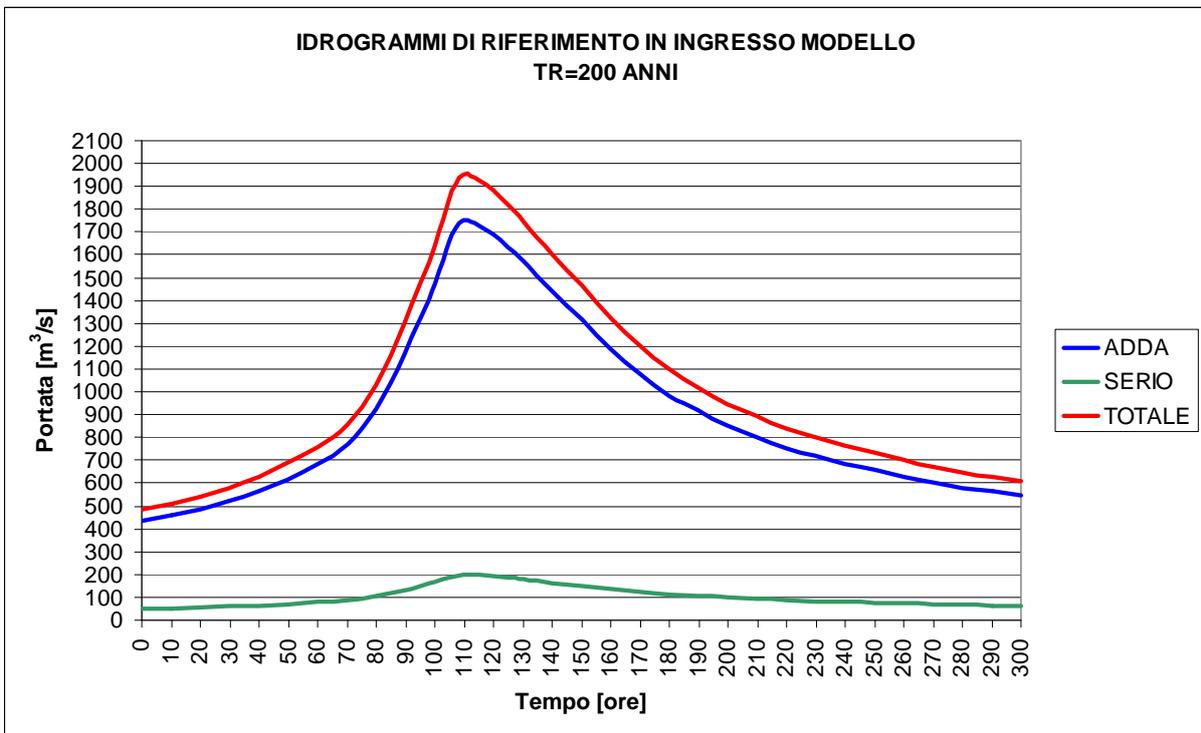


Figura 68 –TR=200 anni - Idrogrammi di piena di riferimento in ingresso modello

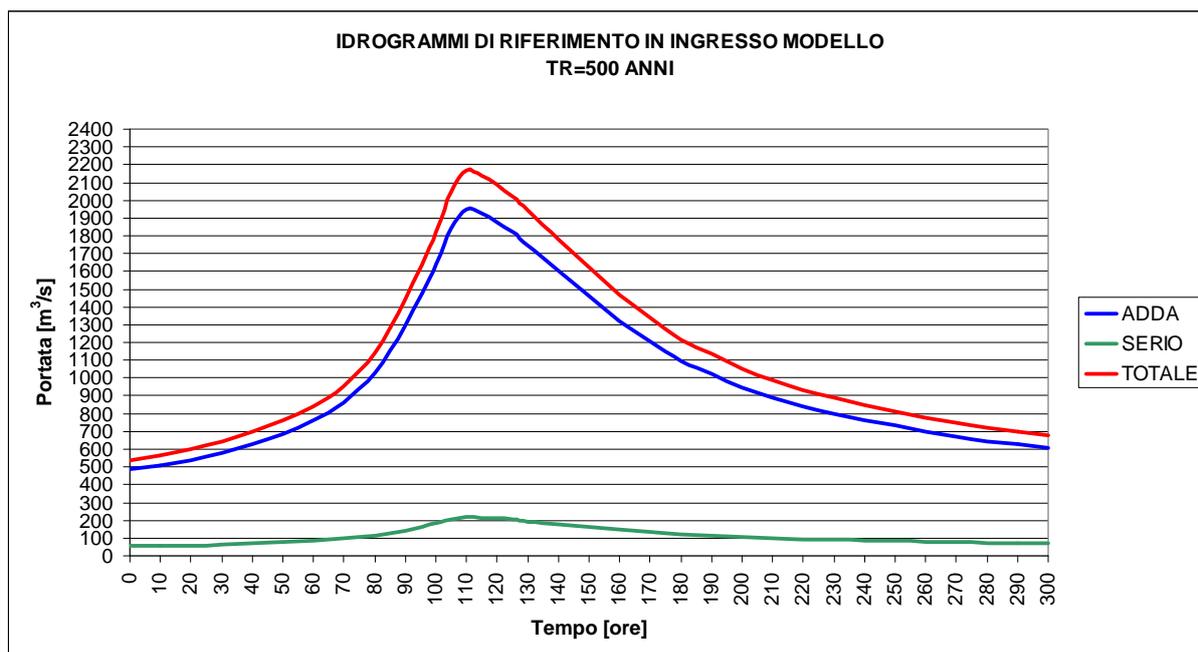


Figura 69 –TR=500 anni - Idrogrammi di piena di riferimento in ingresso modello

Sono stati, inoltre, analizzati scenari di magra con portata media transitante pari a 110 m<sup>3</sup>/s e 176 m<sup>3</sup>/s, finalizzati all'analisi delle condizioni di normale esercizio dell'impianto e alle valutazioni sul deflusso minimo vitale da rilasciarsi a valle opera.

Le portate in stato di progetto sono state parzializzate tra portata defluente verso l'impianto di turbinaggio e deflusso minimo vitale a valle traversa.

Le simulazioni, in questo caso, sono state effettuate in regime stazionario, mantenendo per un lungo periodo di tempo una portata in afflusso costante nei punti di *inflow* del modello; in particolare, per portata totale di 110 m<sup>3</sup>/s, si è usata una portata da Adda pari a 95 m<sup>3</sup>/s e da Serio pari a 15 m<sup>3</sup>/s, mentre per una portata totale di 176 m<sup>3</sup>/s, si è usata una portata da Adda pari a 152 m<sup>3</sup>/s e da Serio pari a 24 m<sup>3</sup>/s.

Si rimanda ai capitoli dedicati per ogni approfondimento in merito alle parzializzazioni effettuate nei diversi scenari utilizzati (§ 8.6.5 - § 8.6.6).

#### 8.4.2 Portate solide

Le portate solide movimentabili durante gli eventi di riferimento sono state valutate implementando, all'interno del modulo "Morphology" del modello bidimensionale BASEMENT, le caratteristiche del sedimento, secondo quanto indicato in § 6.

L'afflusso del sedimento viene calcolato dal modello per ogni elemento, in base alla composizione del sedimento, calcolando la capacità di trasporto in equilibrio dello stesso.

Per la valutazione del trasporto solido è stata utilizzata la formula di Wu.

La formula di Wu, Wang e Jia (2000) è stata utilizzata perché dà la possibilità di sviluppare un modello di tipo “multi-grano”, cioè permette di definire più classi granulometriche a cui si associa una percentuale di riferimento; questo permette di sfruttare al massimo delle possibilità i dati derivanti dalle prove granulometriche di laboratorio disponibili.

È una formula di trasporto sviluppata per sedimenti di fondo classati, basata su un nuovo approccio per il meccanismo di copertura ed esposizione dei grani nel trasporto non uniforme.

Il fattore di protezione ed esposizione viene assunto come funzione delle probabilità relative, che sono funzioni stocastiche relative a dimensione e gradazione dei materiali di fondo stessi.

In base a questo concetto, sono state sviluppate le formule per il calcolo della tensione critica di moto incipiente e del trasporto di sedimento al fondo.

Sono state utilizzate diversi dati di laboratorio e di campo per lo sviluppo di tale formulazione.

La probabilità che i grani  $d_g$  siano protetti o esposti da parte dei grani  $d_i$  si ottiene con:

$$P_{hid_g} = \sum_{i=1}^{ng} \beta_i \frac{d_i}{d_g + d_i}$$

Il parametro critico adimensionale di Shields per ogni classe di grano  $g$  può essere calcolato utilizzando il fattore di protezione e esposizione  $\eta_g$  ed il parametro di Shields della classe di grano media  $\theta_{cr_m}$  come:

$$\theta_{cr_g} = \theta_{cr_m} \left( \frac{P_{exp_g}}{P_{hid_g}} \right)^m$$

La capacità di trasporto può così essere determinata dalla formula di Wu in forma adimensionale:

$$\Phi_{B_g} = 0.0053 \left( \frac{\theta'}{\theta_{cr_g}} - 1 \right)^{2.2}$$

Infine gli ammontare dei vari contributi di trasporto per ogni frazione di sedimento è calcolato come:

$$q_{b_g} = \beta_g \sqrt{(s-1) \cdot g \cdot d_g^3} \cdot \Phi_{B_g}$$

#### 8.4.3 Condizione al contorno di valle

Come condizione al contorno di valle è stata impostata la scala di deflusso alla sezione PAI 54, di valle del modello.

#### 8.4.4 Parametri di scabrezza

Analizzando gli studi pregressi effettuati sul tratto e valutando correttamente le caratteristiche del territorio e dell'alveo dei corsi d'acqua interessati si è potuto valutare il coefficiente di scabrezza da utilizzarsi per i vari materiali utilizzati.

I valori di scabrezza sono stati tarati in modo da riprodurre i livelli idrici duecentennali delle simulazioni effettuate nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda" e riportati nell'elaborato 3.1.2.2./1/1R, in Tab 1.5.1g.

Il valore di scabrezza si attesta a  $25.6 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  ( $n=0.039 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ ) sia per l'alveo/sponda che per i terreni agricoli circostanti, costituenti le aree golenali. Queste ultime presentano particolari caratteristiche, essendo assimilabili ad aree agricole ovvero con vegetazione rada o assente, per le quali Chow (1959) assegna valore di  $n = 0.035 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ . La scelta di un valore pari a 0.039, leggermente più cautelativo rispetto alla bibliografia, consente una migliore corrispondenza con i livelli idrici dello Studio di Fattibilità.

Per l'opera in progetto si è utilizzato un valore di scabrezza, corrispondente al calcestruzzo, pari a  $40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

## 8.5 Taratura modello e allagamento evento novembre 2002

Si riportano nel seguito le analisi sviluppate nello Studio di Fattibilità dell'Autorità di Bacino, il quale fornisce i livelli idrici per tempo di ritorno 20, 200, 500 anni, ottenuti a seguito di taratura sull'evento di piena novembre 2002.

Si riportano inoltre le planimetrie di allagamento della piena del novembre 2002, desunte dal documento 'Evento alluvionale Novembre 2002: campi di allagamento del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po' dell'AdBPo.



Figura 70 – Planimetria allagamento evento alluvionale Novembre 2002. Legenda

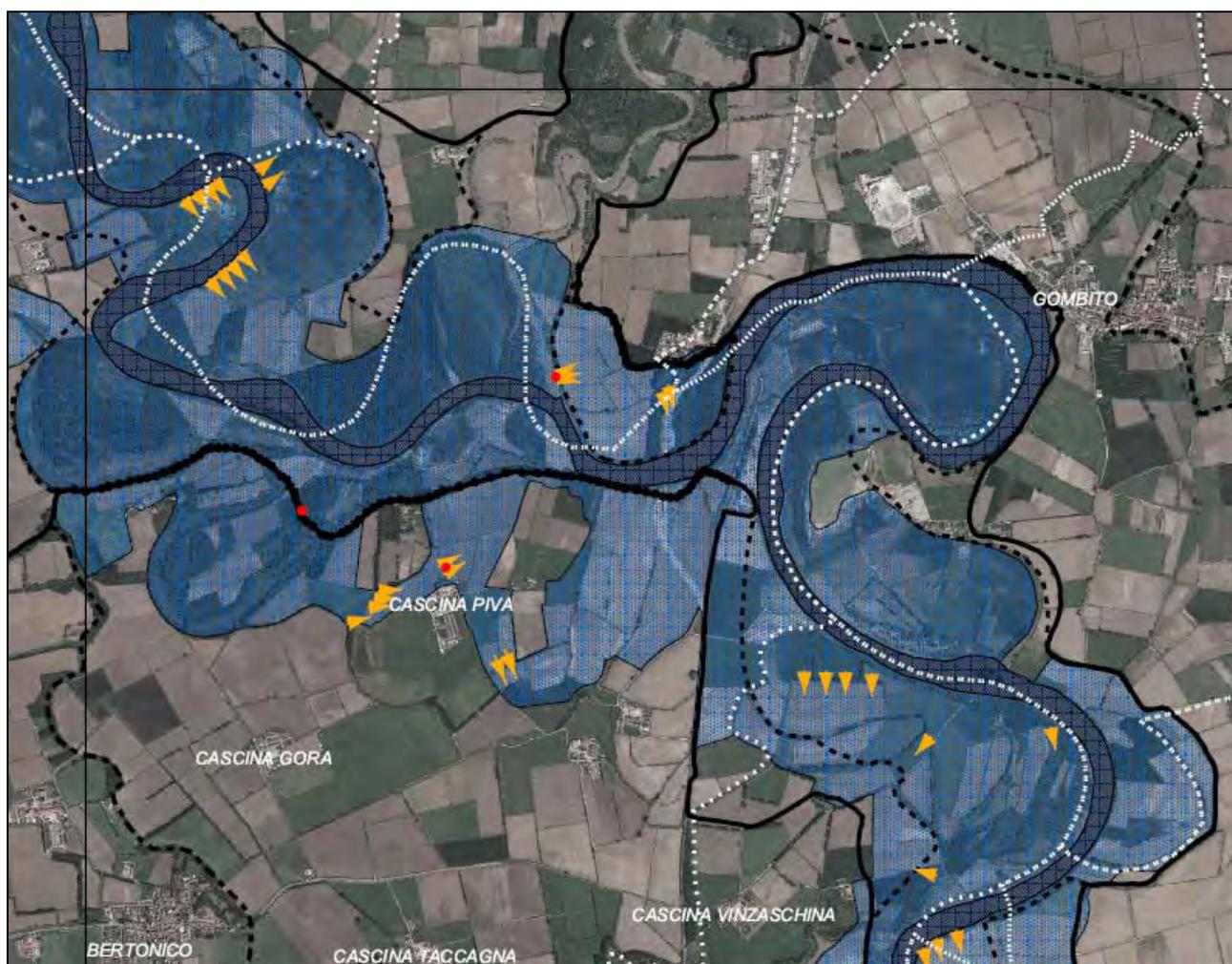


Figura 71 – Planimetria allagamento evento alluvionale Novembre 2002

Si evidenziano alcune rotture arginali (tondi rossi) che hanno prodotto un incremento di allagamento delle aree a tergo argine e delle campagne circostanti durante l'evento di piena Novembre 2002.

Nel seguito si riportano le planimetrie delle aree allagate per Tr20, 200 e 500, desunti sempre dallo Studio di Fattibilità AdBPo Attività 3.1.2.2, su cui è stata sviluppata la taratura del presente modello idraulico.

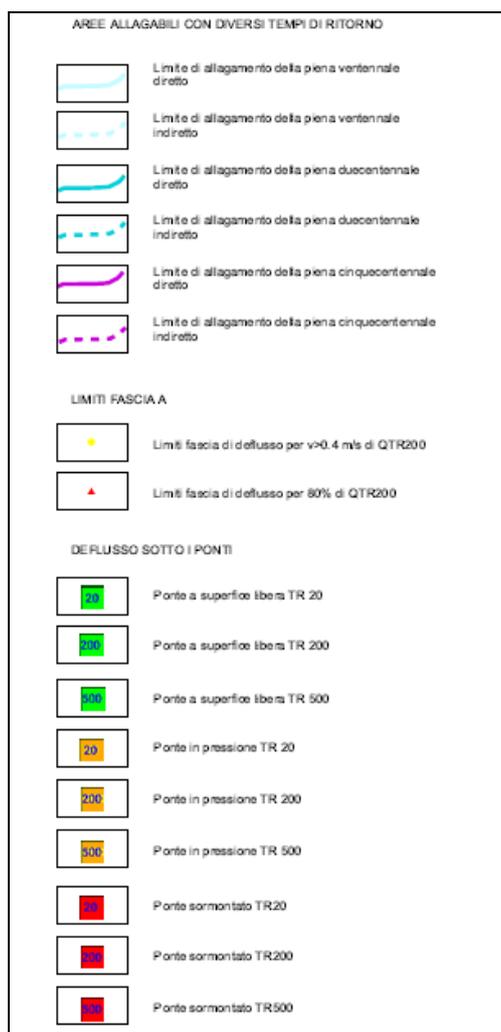


Figura 72 – Studio di Fattibilità AdBPo. Legenda Cartografia aree allagate

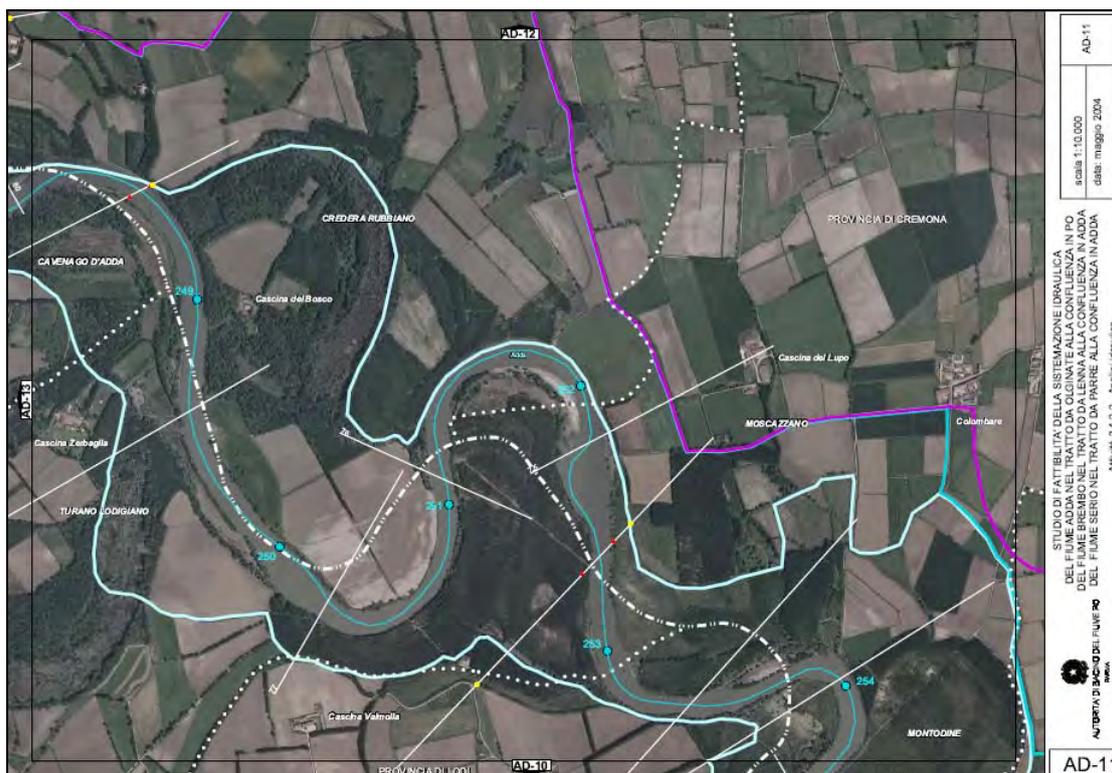


Figura 73 – Studio di Fattibilità AdBPo. ATTIVITA' 3.1.2.2/2/1C Cartografia della delimitazione delle aree allagate AD11



Figura 74 – Studio di Fattibilità AdBPo. ATTIVITA' 3.1.2.2/2/1C Cartografia della delimitazione delle aree allagate AD10



Figura 75 – ATTIVITA' 3.1.2.2/2/1C Cartografia della delimitazione delle aree allagate AD9. Studio di Fattibilità AdBPo



Figura 76 – Studio di Fattibilità AdBPo. ATTIVITA' 3.1.2.2/2/1C Cartografia della delimitazione delle aree allagate AD8

## **8.6 Scenari analizzati e risultati delle simulazioni**

Nel presente paragrafo, saranno analizzati i seguenti scenari:

- stato attuale;
- stato di progetto.

Di ognuno, si analizzeranno gli elementi caratterizzanti e i risultati delle modellazioni idrauliche e morfologiche eseguite su di essi.

### **8.6.1 Scenario di stato attuale (Tr20, 100 e 200 anni)**

Lo scenario di stato attuale oggetto di analisi è stato ricostruito utilizzando i dati topografici a disposizione di cui in § 4.

La Figura 77 riporta il modello tridimensionale del terreno di riferimento.

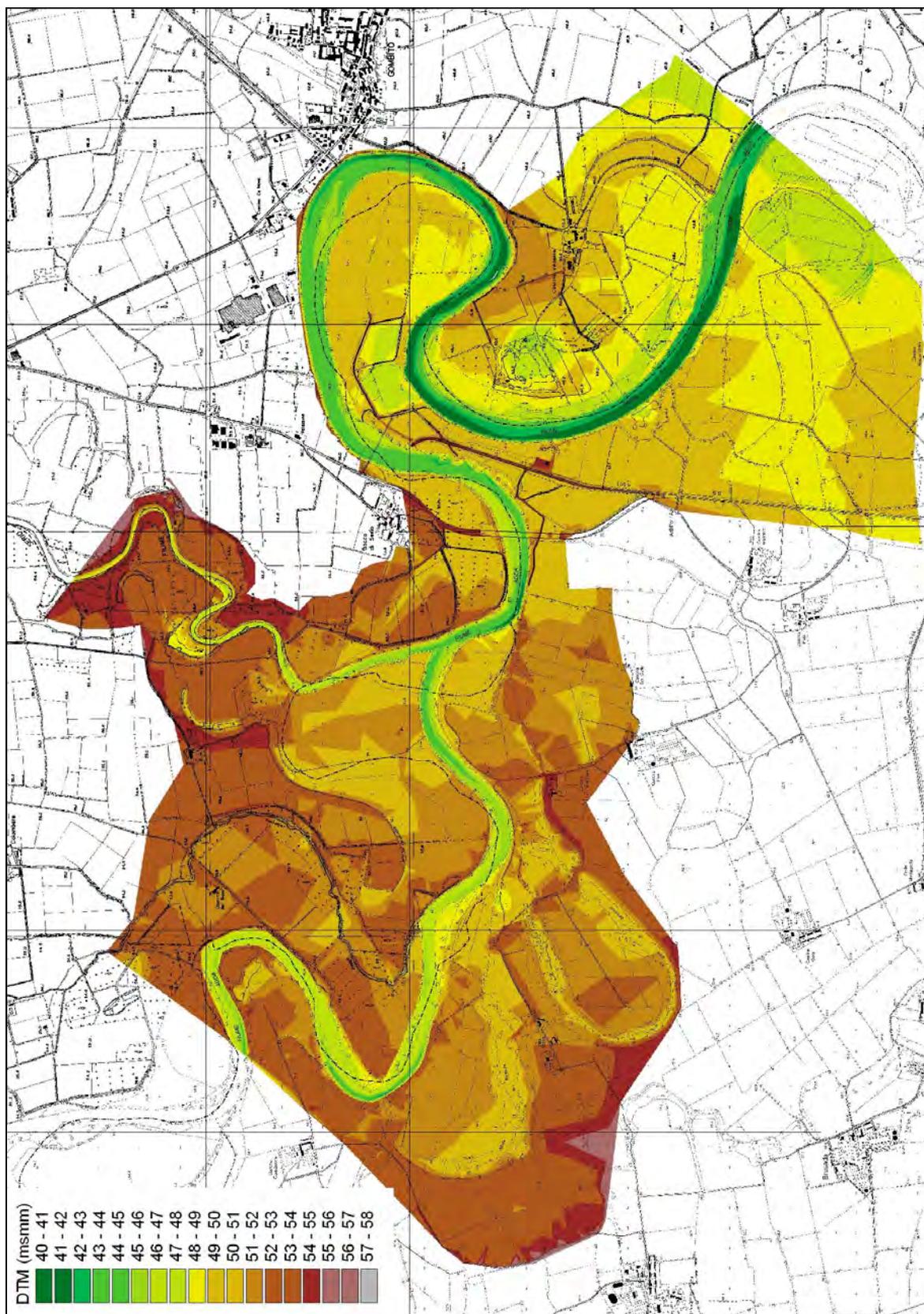


Figura 77 – Stato attuale - Modello terreno 3D

Il modello 3D è stato utilizzato per quotare la *mesh* di input del modello idraulico bidimensionale BASEMENT.

La Figura 78 riporta la caratterizzazione delle varie aree assegnate per la definizione del modello all'interno del dominio di calcolo considerato; in rosso si riportano le aree definite come alveo, in giallo le sponde e le zone limitrofe, in magenta la golena.

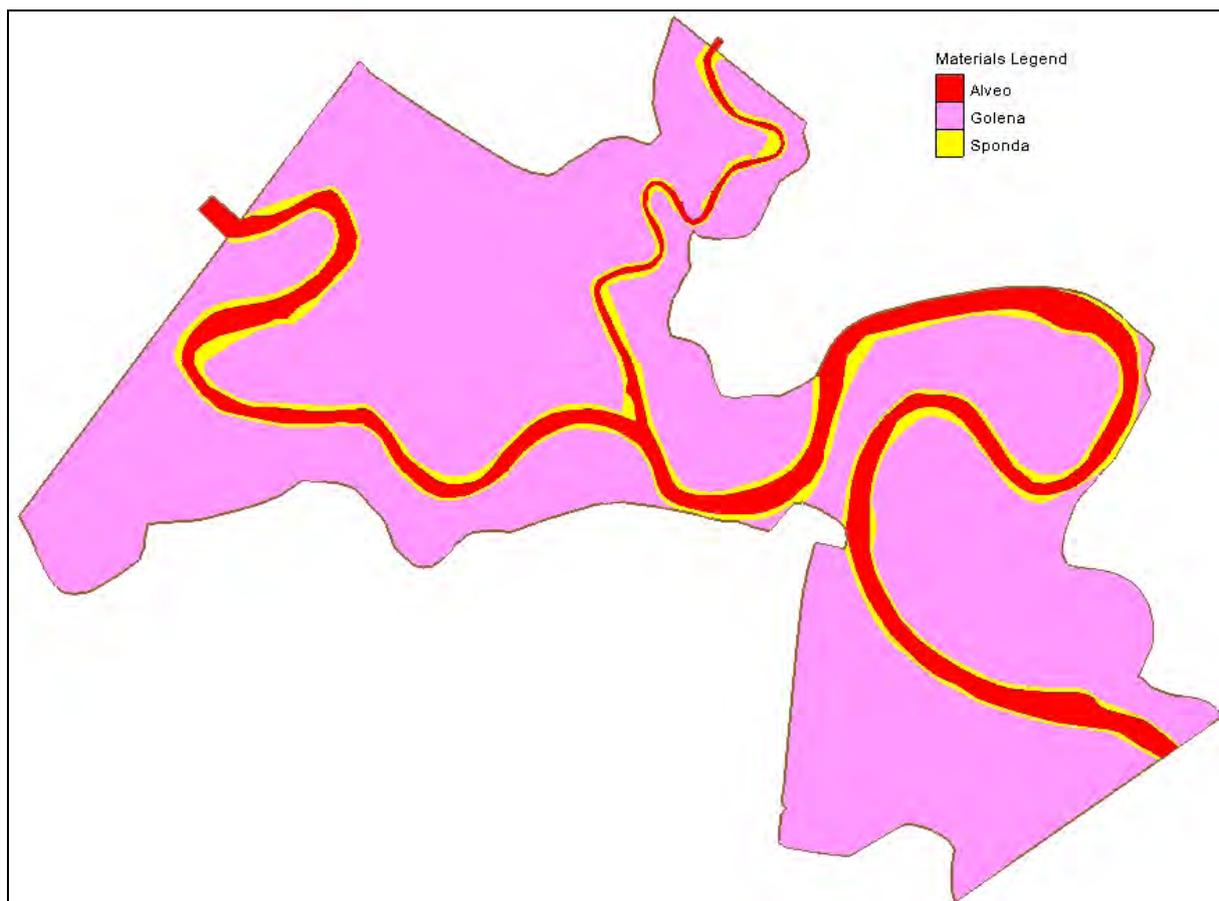


Figura 78 – Stato Attuale – Caratterizzazione *mesh* di calcolo modello BASEMENT

Dalla Figura 79 alla Figura 87 si riportano le Carte dei livelli massimi, dei tiranti massimi e delle velocità massime, che si verificano durante gli eventi di piena con tempo di ritorno 200, 100 e 20 anni nella porzione di territorio analizzata, ricavate dall'elaborazione dei risultati delle simulazioni effettuate.

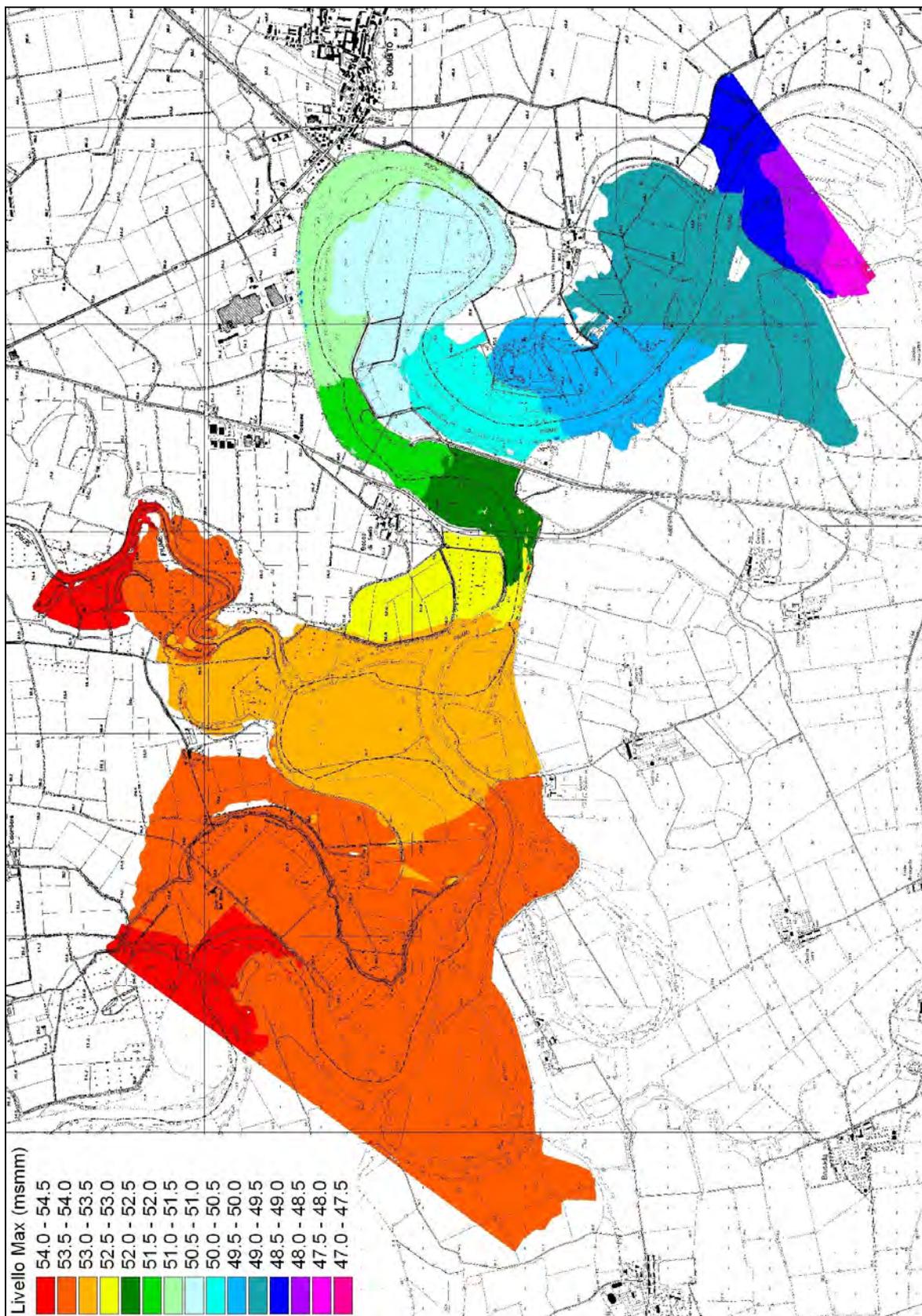


Figura 79 – TR=200 - Stato attuale - Carta dei Livelli Massimi

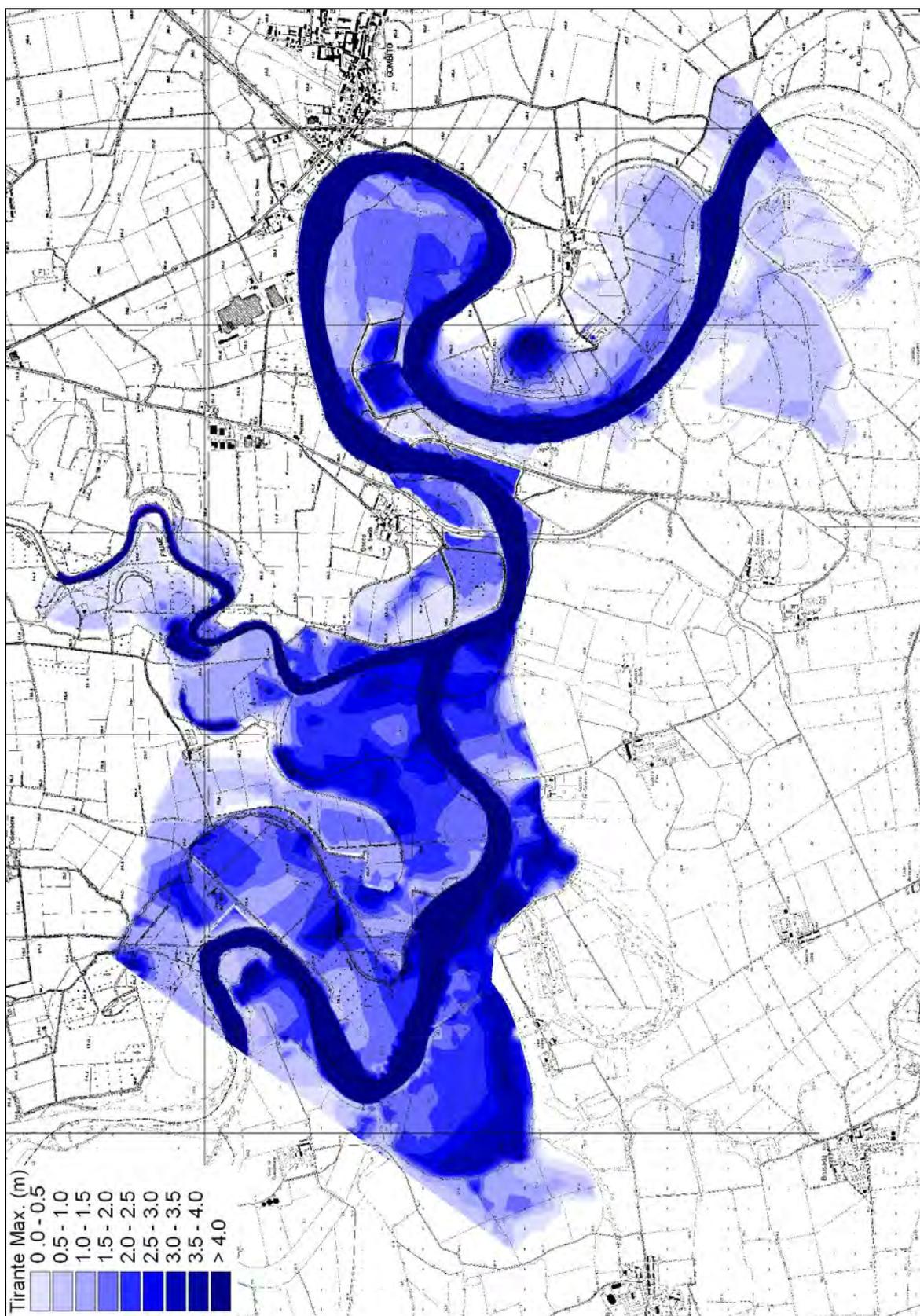


Figura 80 – TR=200 - Stato attuale - Carta dei Tiranti Massimi

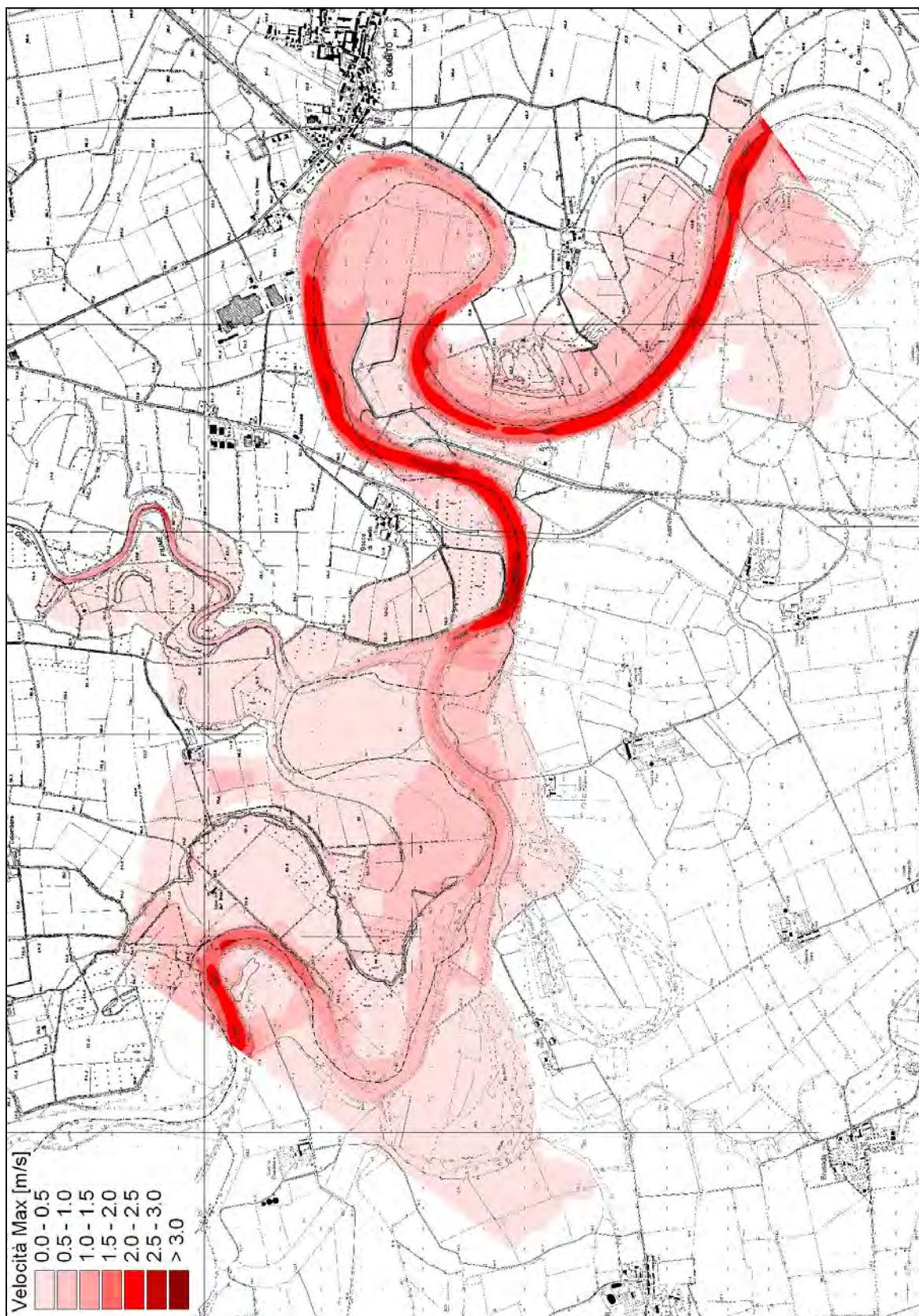


Figura 81 – TR=200 - Stato attuale - Carta delle Velocità Massime

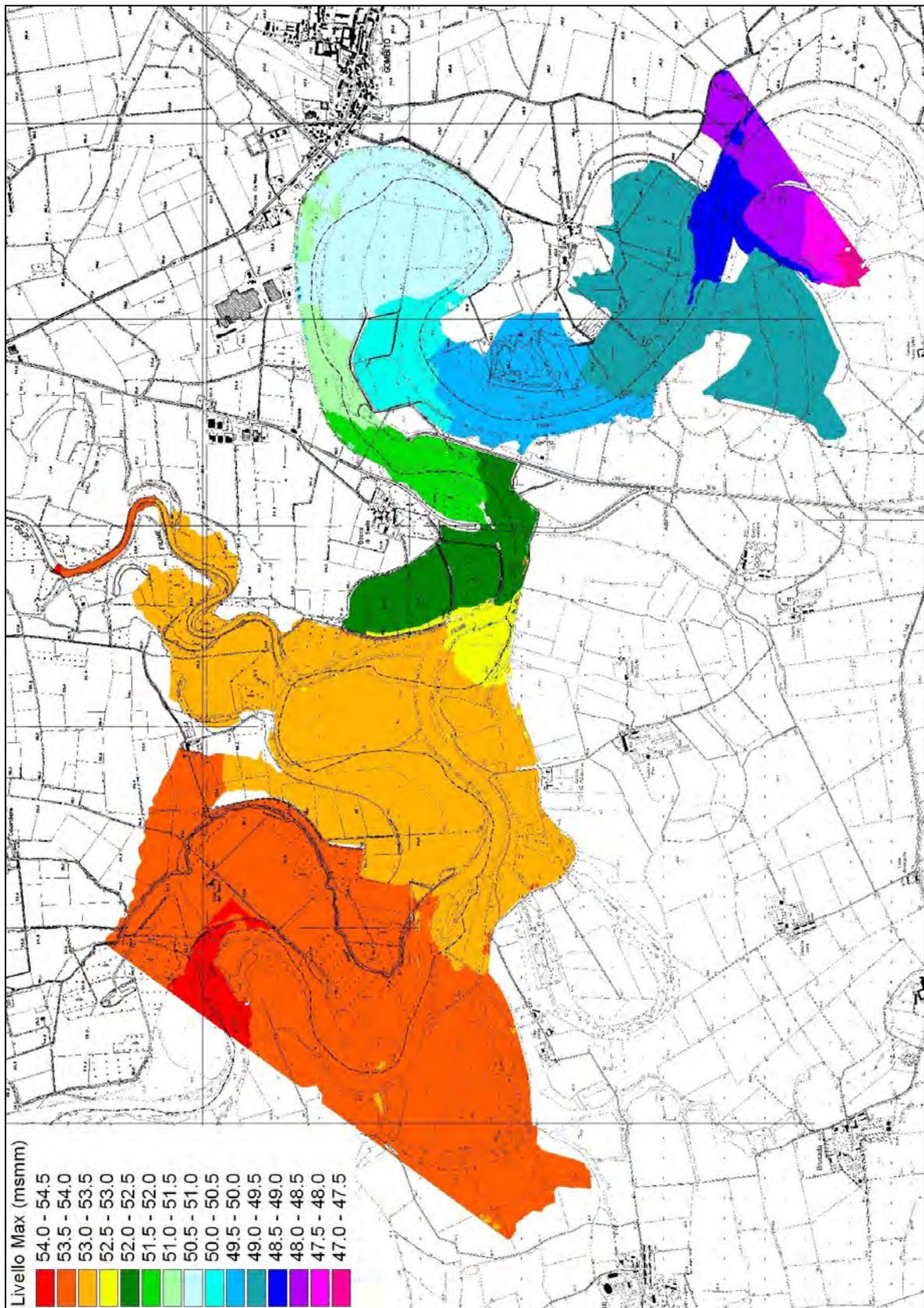


Figura 82 – TR=100 - Stato attuale - Carta dei Livelli Massimi

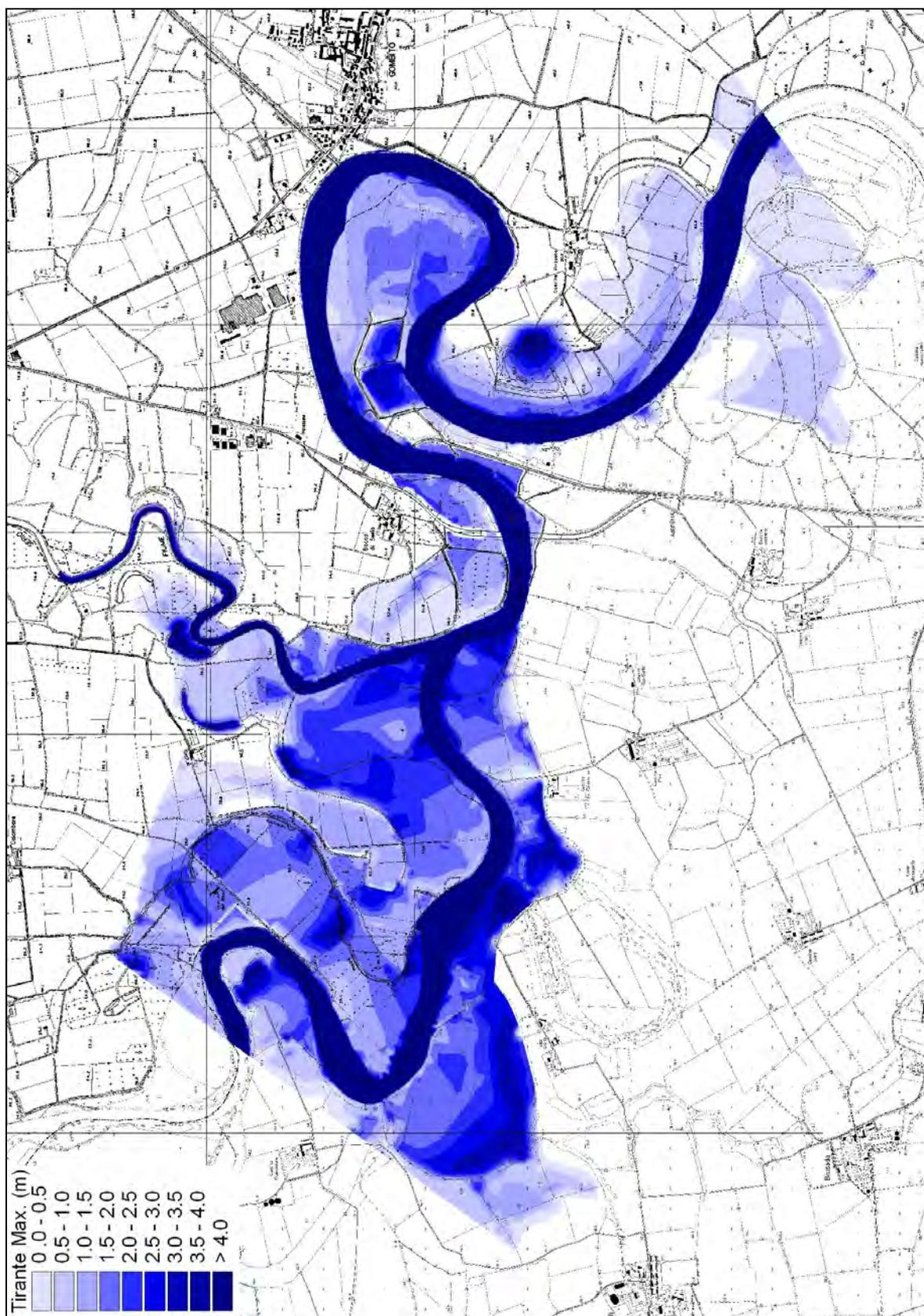


Figura 83 – TR=100 - Stato attuale - Carta dei Tiranti Massimi

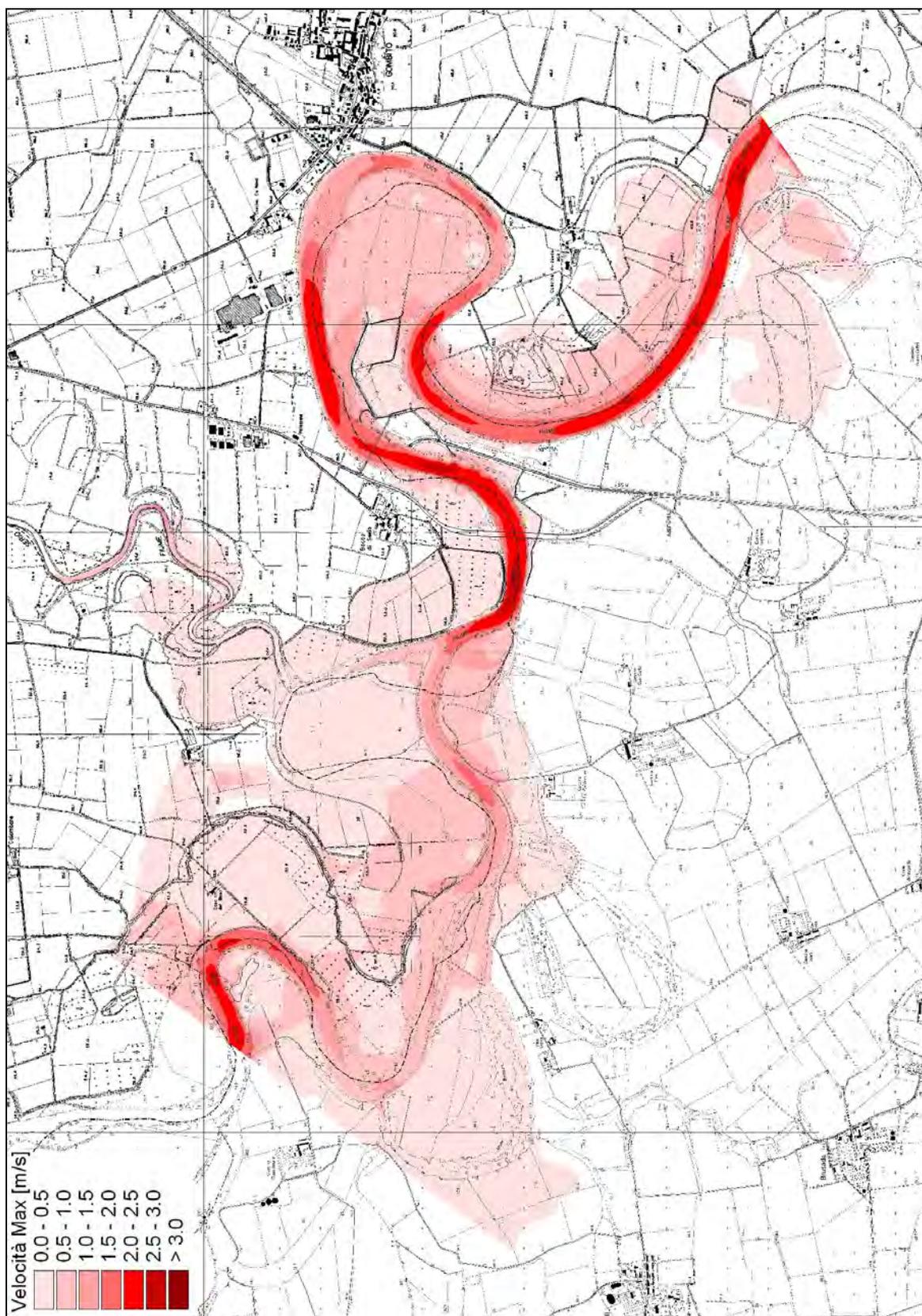


Figura 84 – TR=100 - Stato attuale - Carta delle Velocità Massime

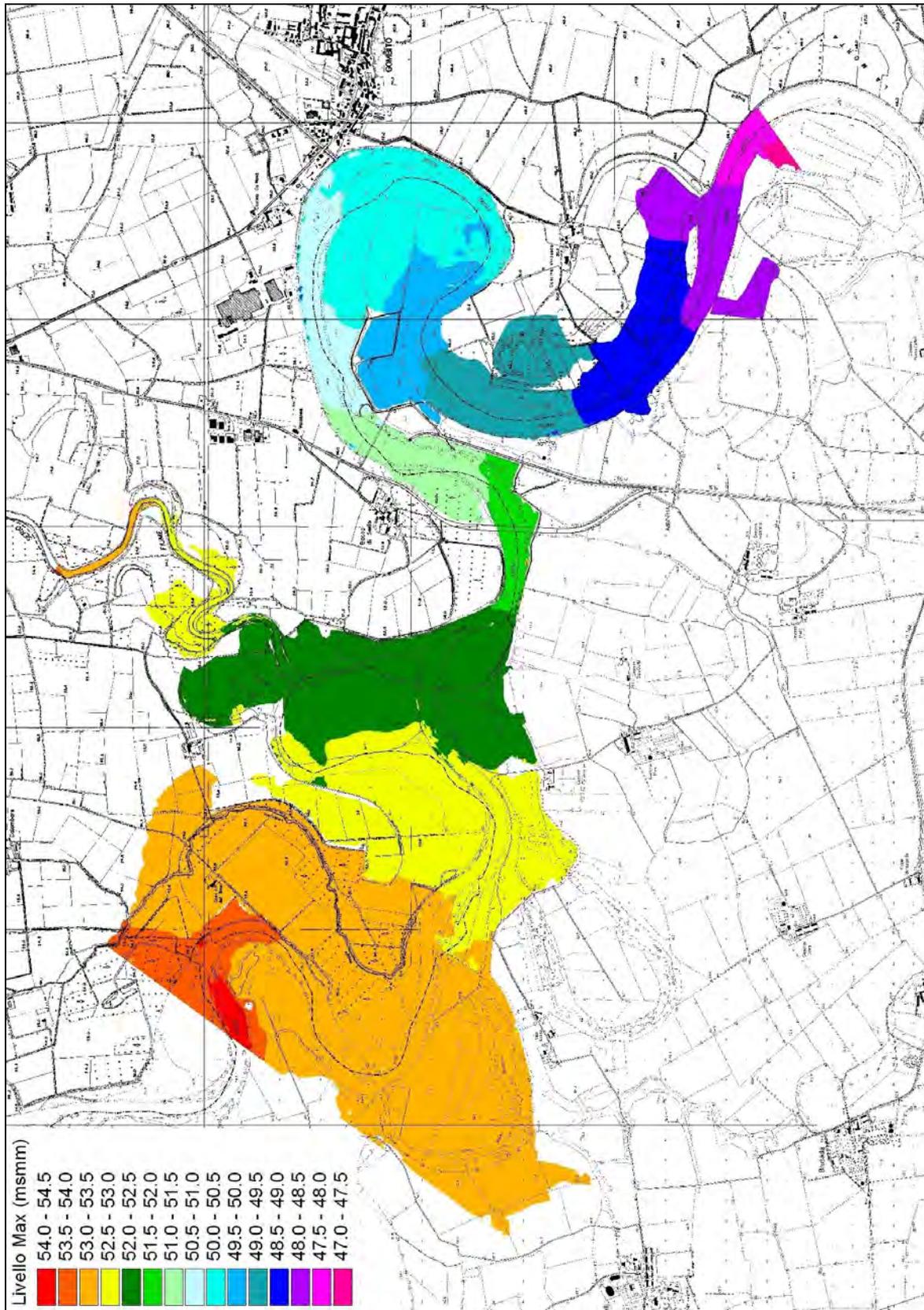


Figura 85 – TR=20 - Stato attuale - Carta dei Livelli Massimi

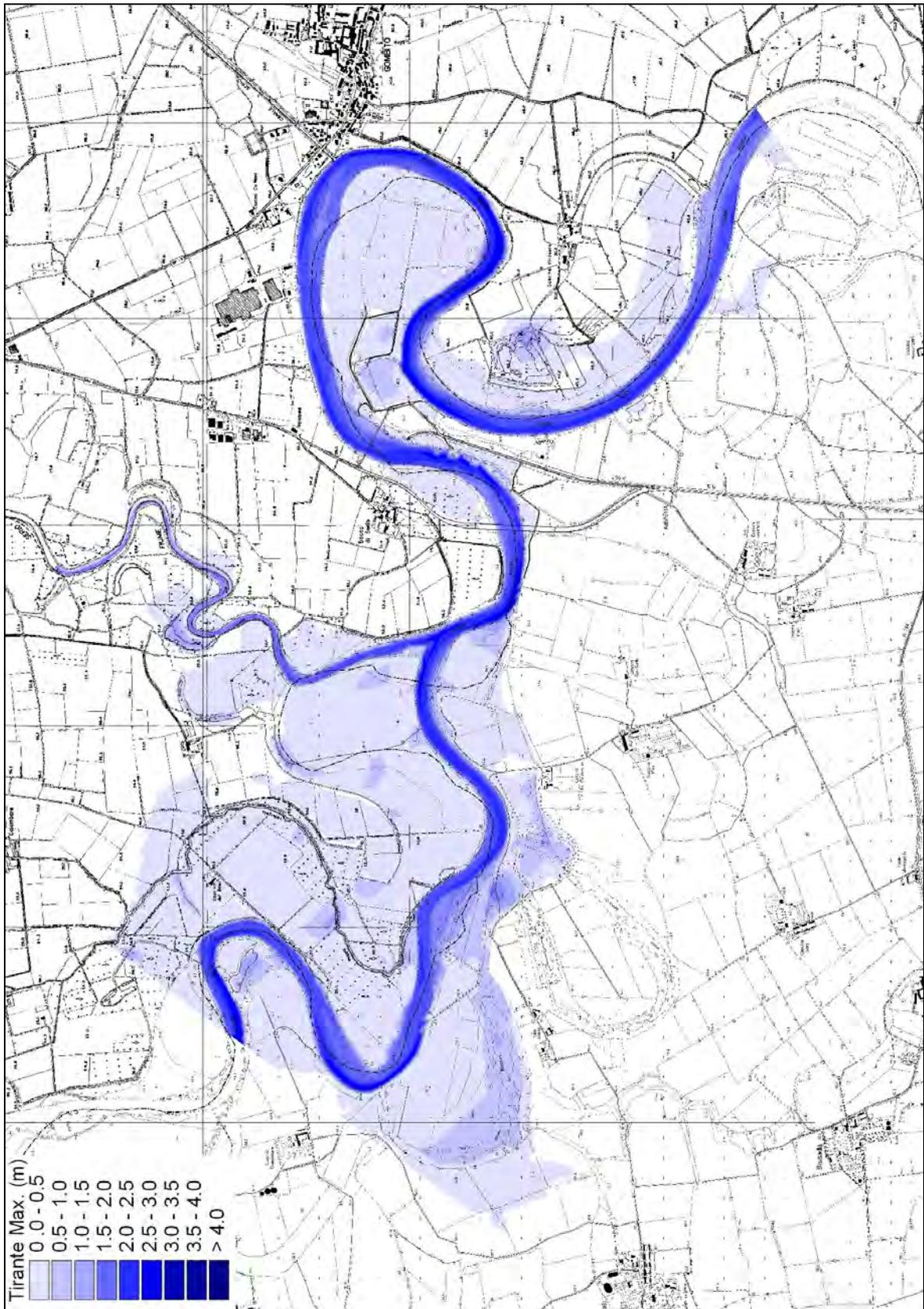


Figura 86 – TR=20 - Stato attuale - Carta dei Tiranti Massimi

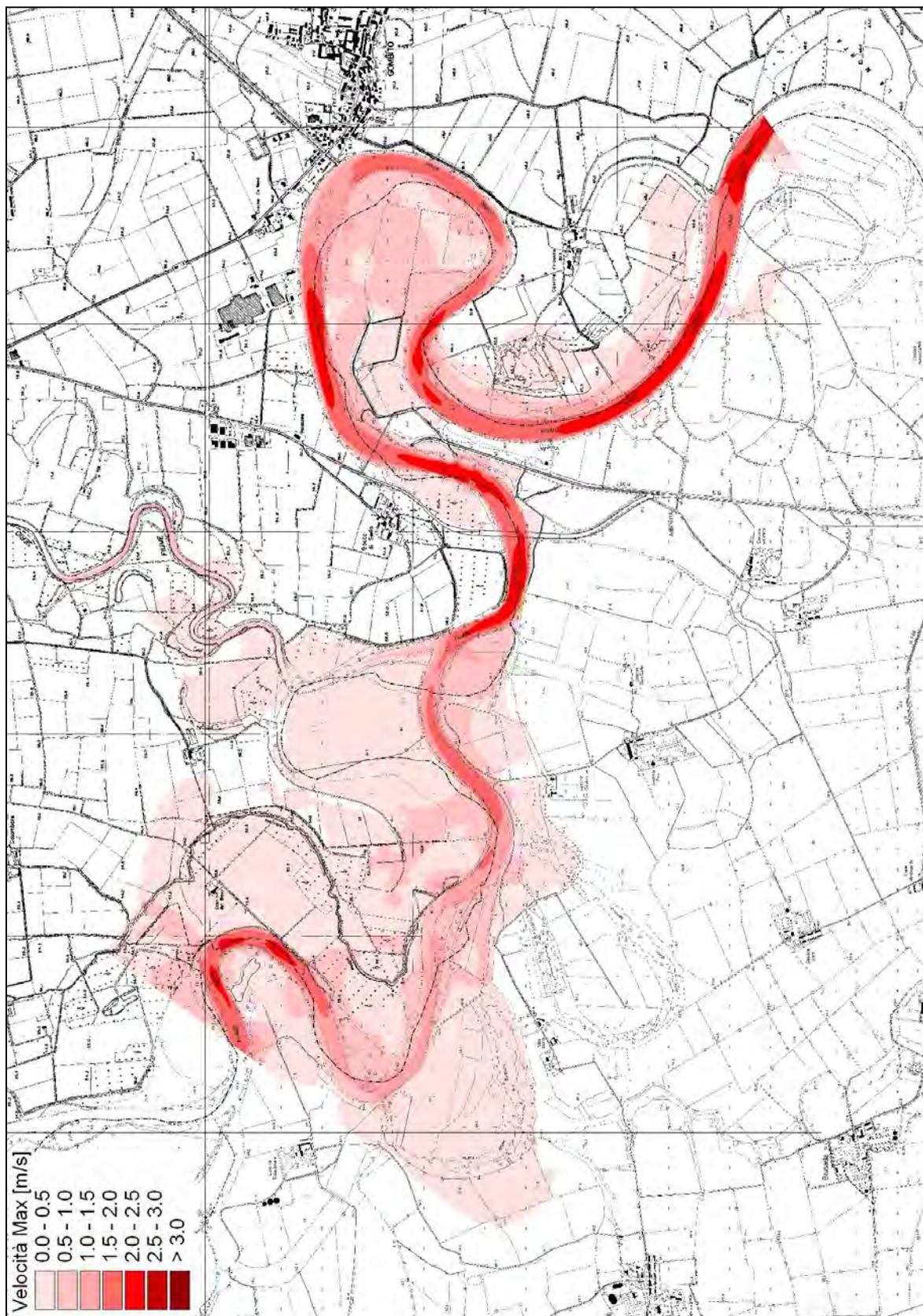


Figura 87 – TR=20 - Stato attuale - Carta delle Velocità Massime

### 8.6.2 Scenario di progetto con funzionamento paratoie poste sulla traversa (paratoie 'orizzontali'- Tr20, 100 e 200)

Lo scenario di progetto è stato ricostruito utilizzando i dati topografici a disposizione e le informazioni tratte dalle tavole progettuali.

Le opere in progetto sono state modellate secondo la situazione ordinaria durante la piena, senza malfunzionamenti degli organi accessori.

Si prevede, pertanto, che tutti gli organi meccanici siano funzionanti, cioè tutte le paratoie a ventola presenti al di sopra della traversa siano aperte completamente (paratoie orizzontali e sbarramento mobile gonfiabile completamente abbassato) e la derivazione d'acqua verso la centrale sia interrotto.

La Figura 88 riporta il modello tridimensionale del terreno di riferimento.

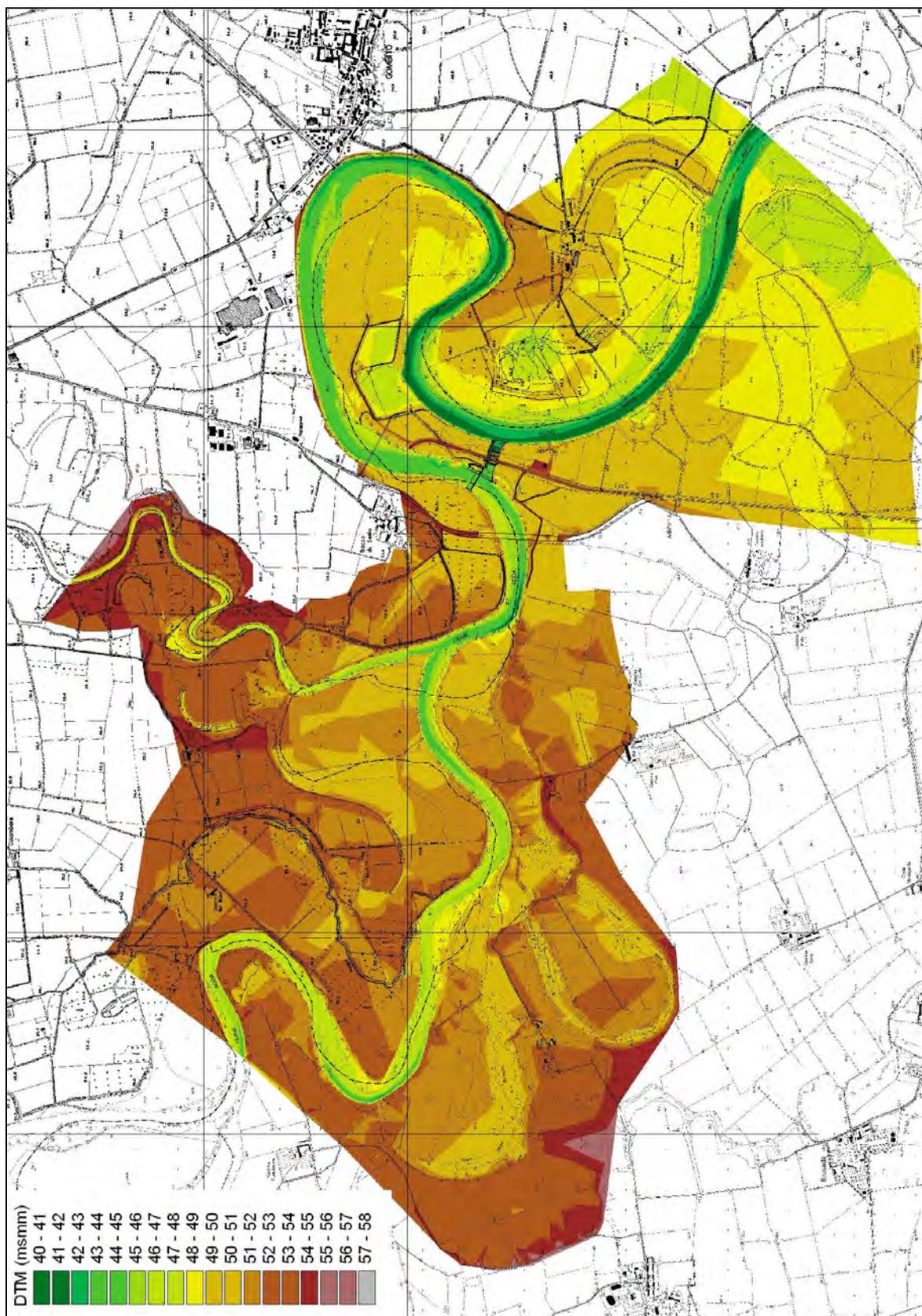


Figura 88 – Scenario di Progetto - Modello terreno 3D

Il modello 3D è stato utilizzato per quotare la *mesh* di input del modello idraulico bidimensionale BASEMENT.

La Figura 89 riporta la caratterizzazione delle varie aree assegnate per la definizione del modello all'interno del dominio di calcolo considerato; in rosso si riportano le aree definite come alveo, in giallo le sponde e le zone limitrofe, in magenta la golena ed in azzurro l'opera in progetto.

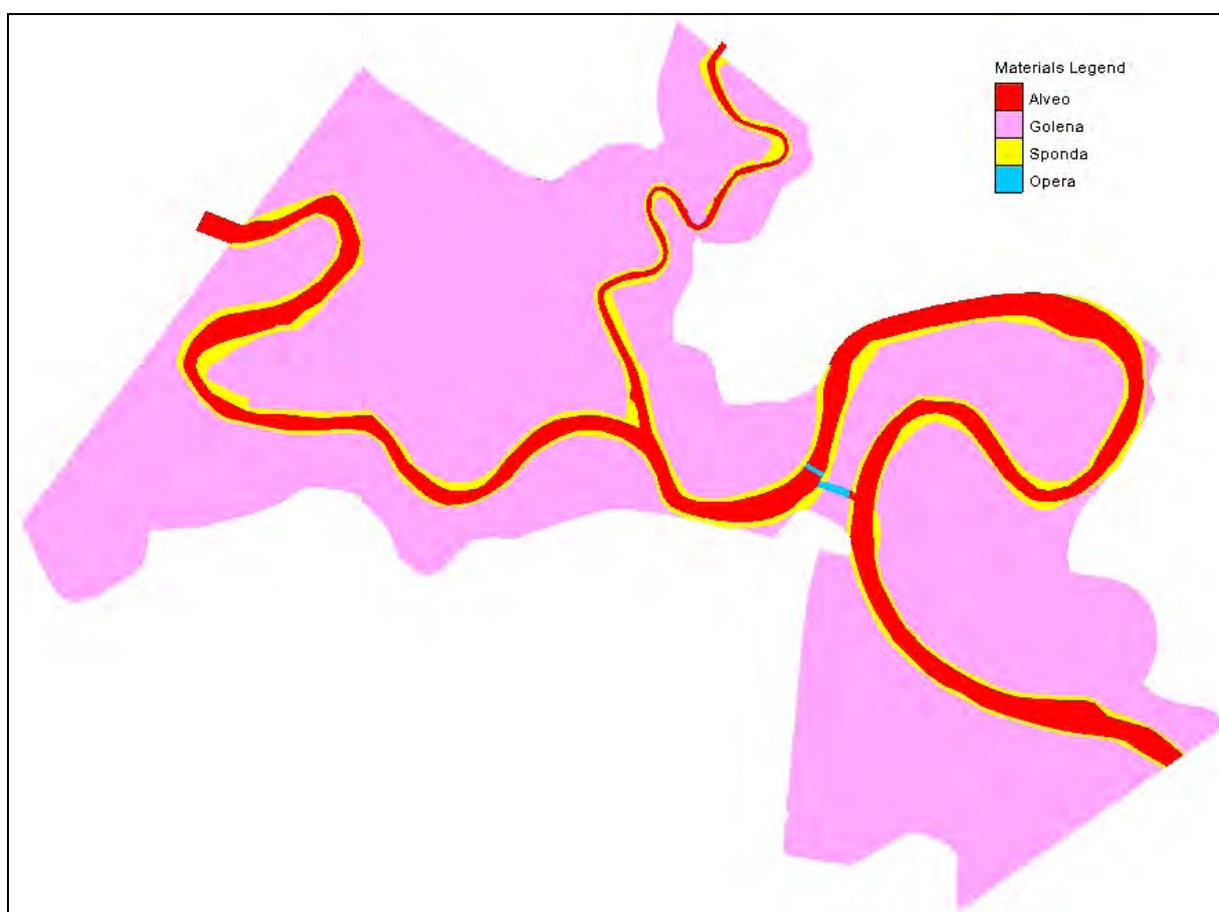


Figura 89 – Stato di Progetto – Caratterizzazione *mesh* di calcolo modello BASEMENT

Da Figura 90 a Figura 102, si riportano le Carte dei livelli massimi, dei tiranti massimi e delle velocità massime, che si verificano durante gli eventi di piena con tempo di ritorno 200, 100 e 20 anni nella porzione di territorio analizzata; sono, inoltre riportate le Carte delle differenze dei livelli e, nel caso del tempo di ritorno 200 anni, anche quella delle differenze di velocità. In condizioni di funzionamento delle paratoie, si verifica, per i tre tempi di ritorno analizzati  $Tr=20$ , 100 e 200 anni, un incremento massimo di livello di 10 cm immediatamente a monte della traversa, per poi ridursi fino ad annullarsi ad estremità modello.

Come si può riscontrare dalle planimetrie allegate la strada provinciale “ex statale 591” non viene superata dall’evento alluvionale.

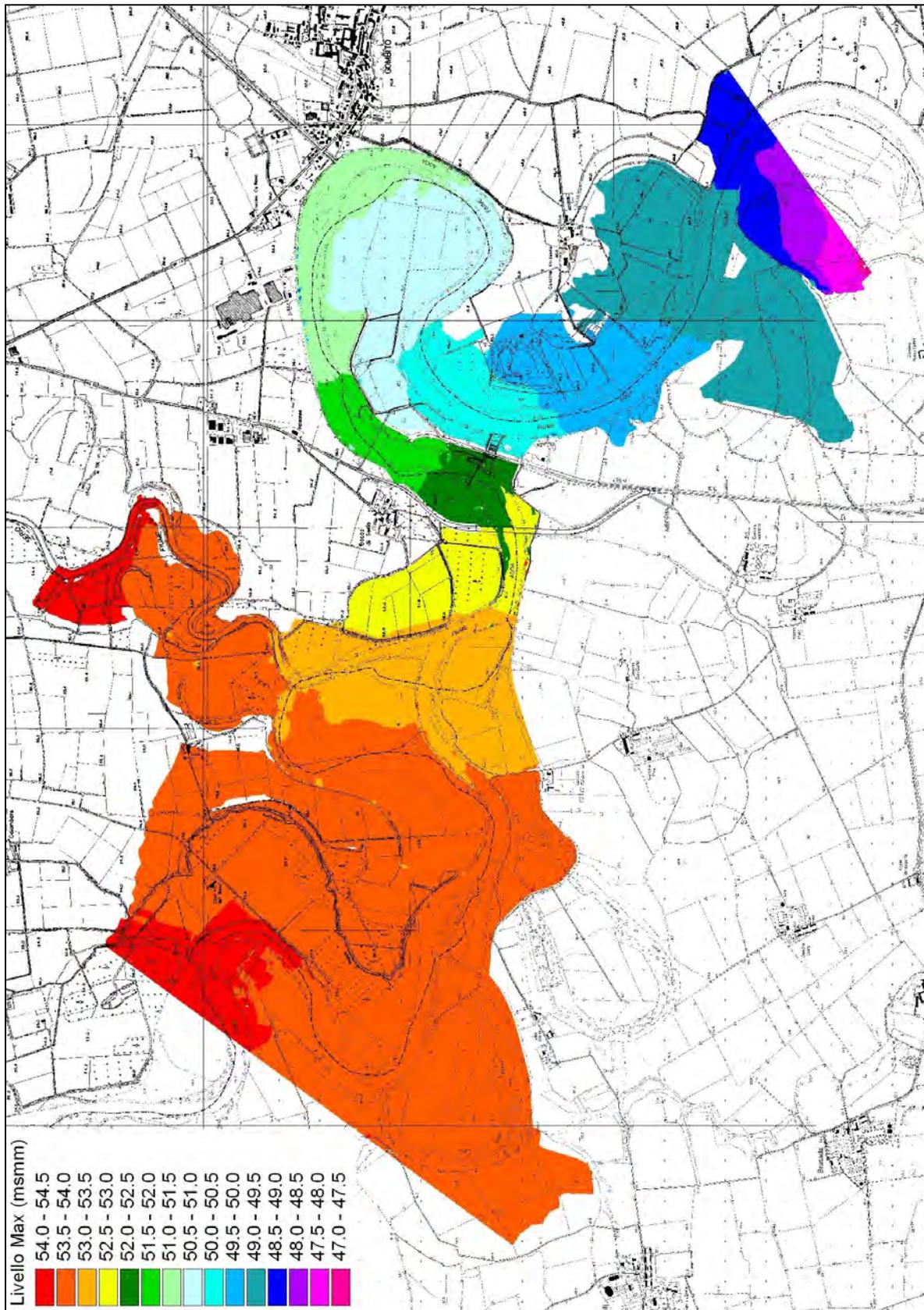


Figura 90 – TR=200 – Stato di Progetto - Carta dei Livelli Massimi

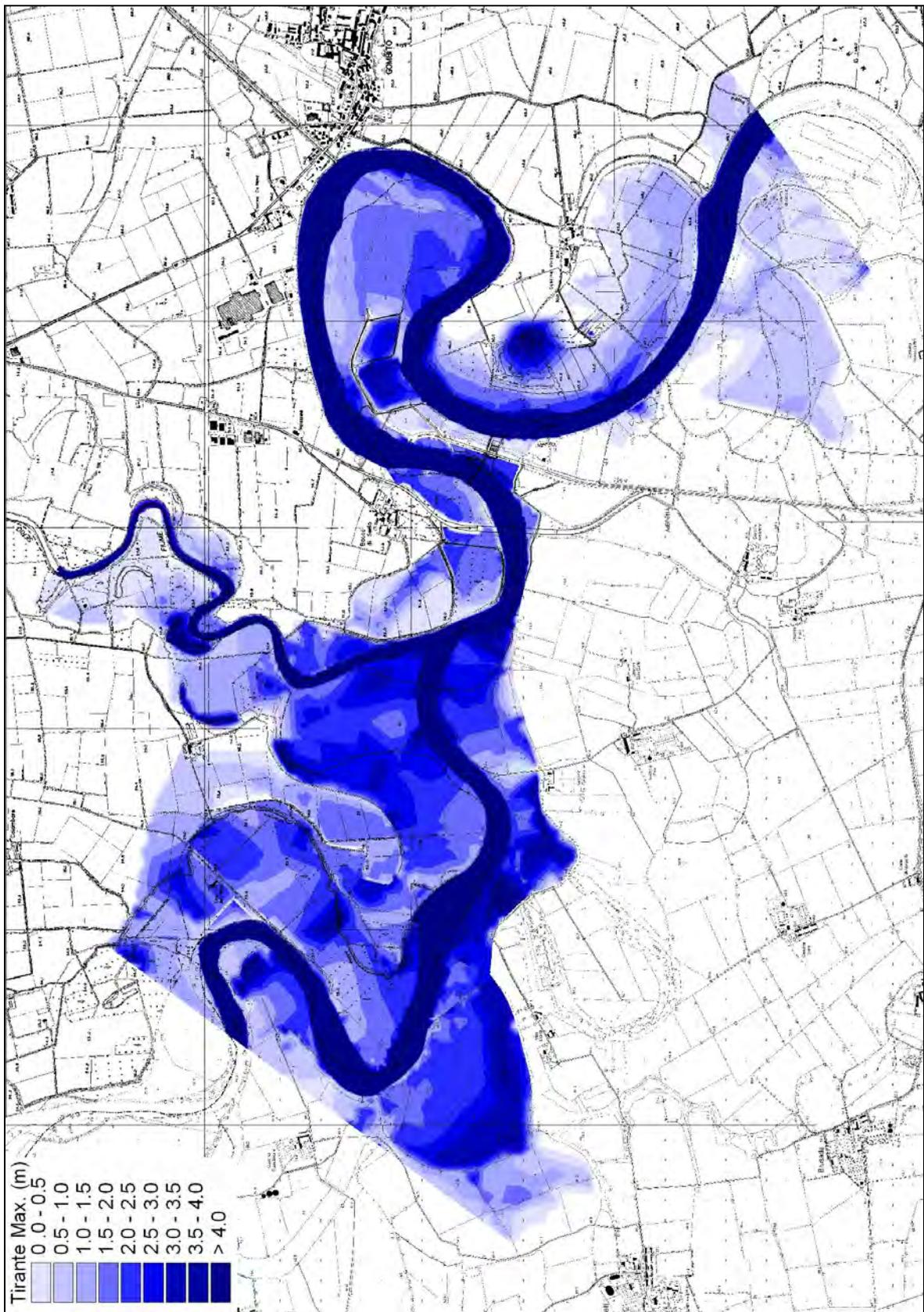


Figura 91 – TR=200 - Stato di Progetto - Carta dei Tiranti Massimi

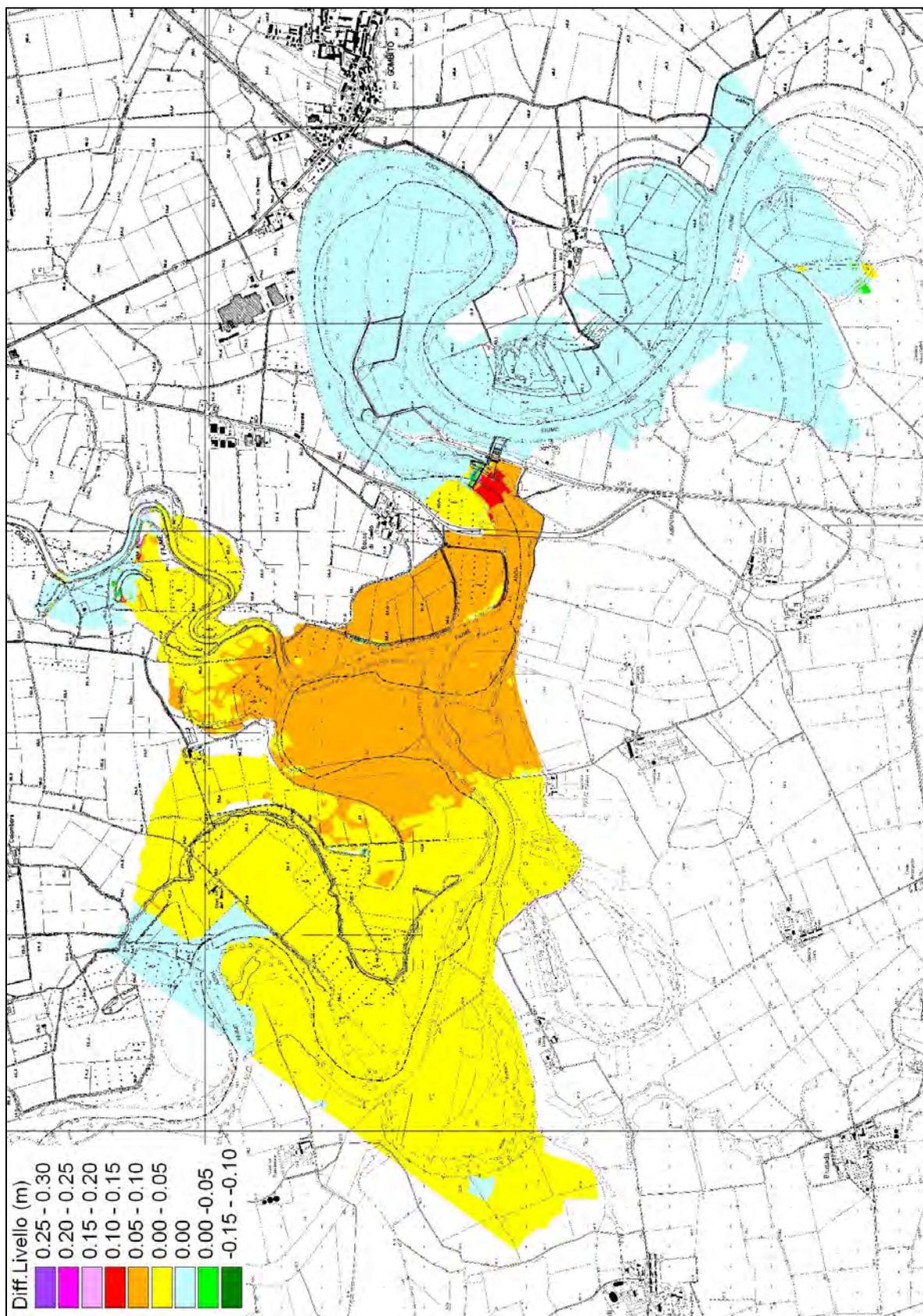


Figura 92 – TR=200 - Stato di Progetto - Carta della differenza dei Livelli Massimi

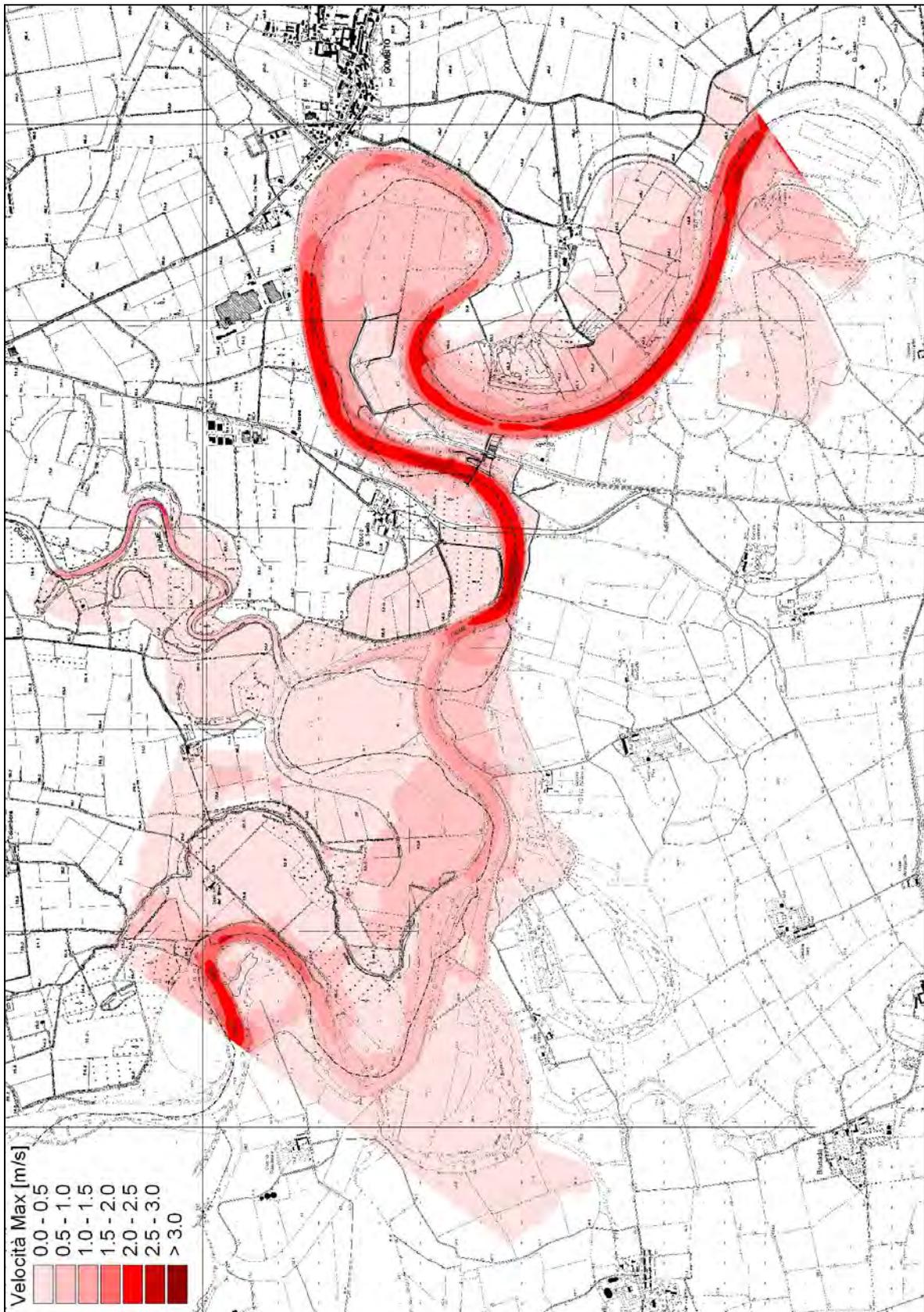


Figura 93 – TR=200 - Stato di Progetto - Carta delle Velocità Massime

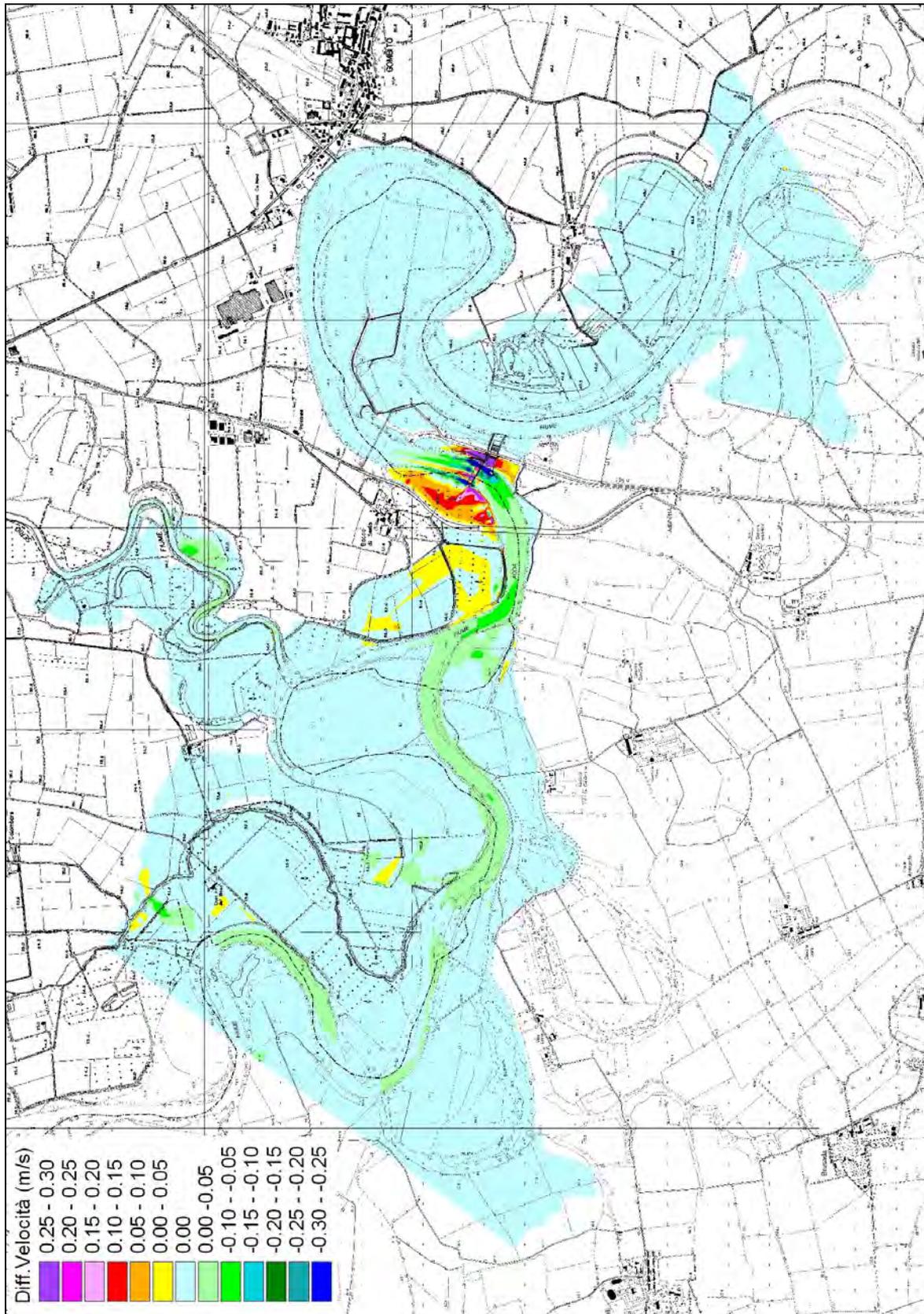


Figura 94 – TR=200 – Stato di Progetto - Carta della Differenza delle Velocità

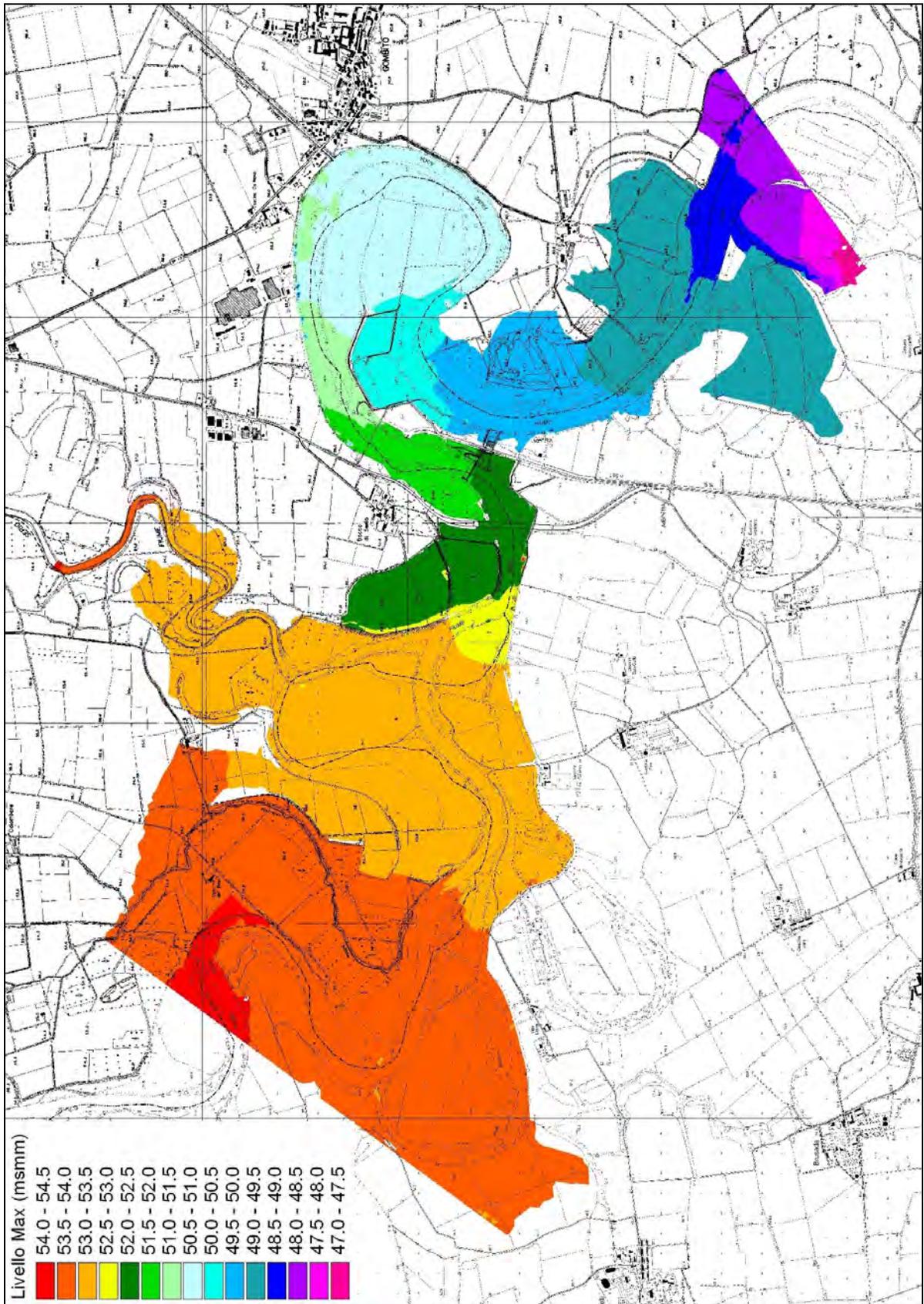


Figura 95 – TR=100 – Stato di Progetto - Carta dei Livelli Massimi

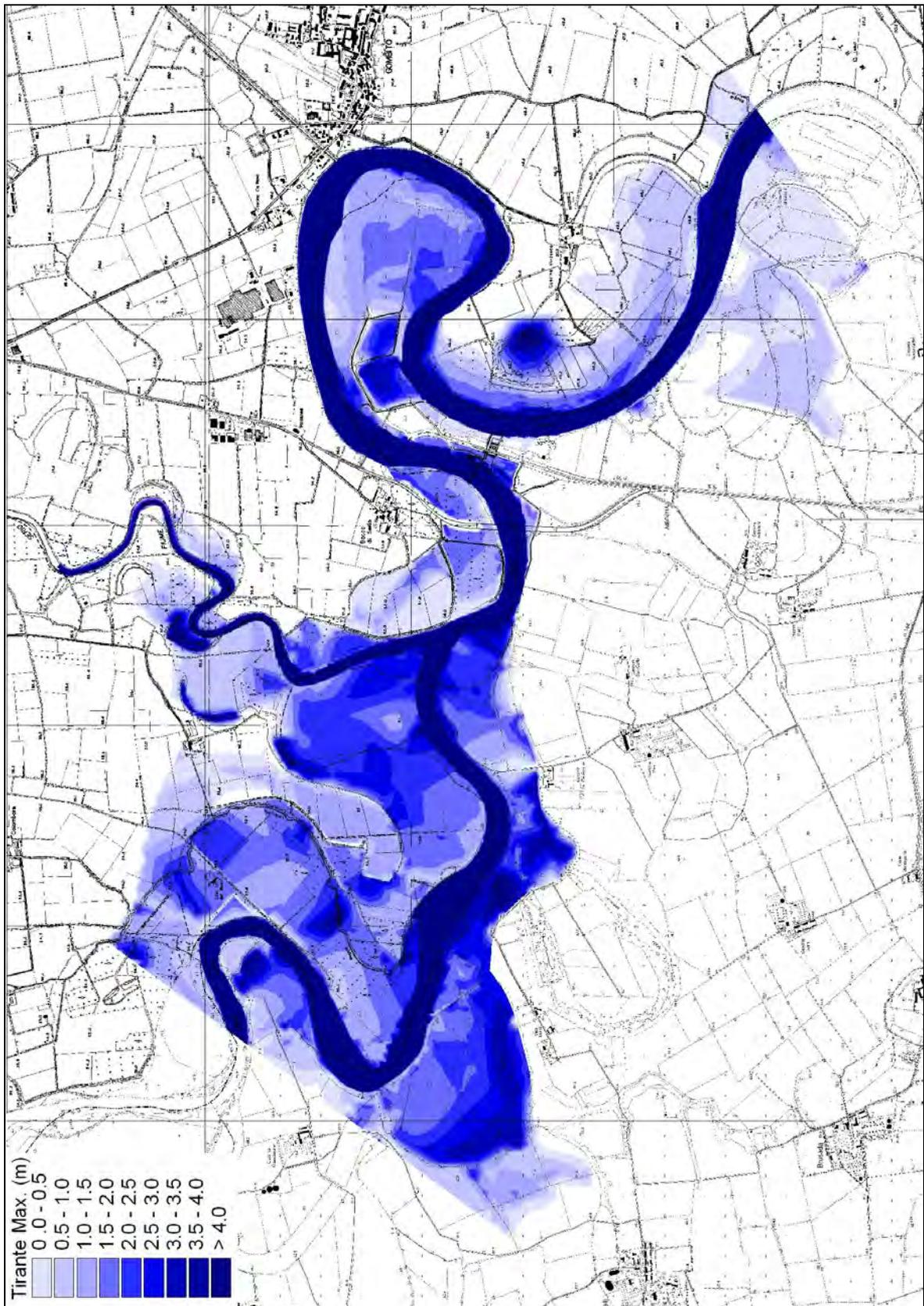


Figura 96 – TR=100 - Stato di Progetto - Carta dei Tiranti Massimi

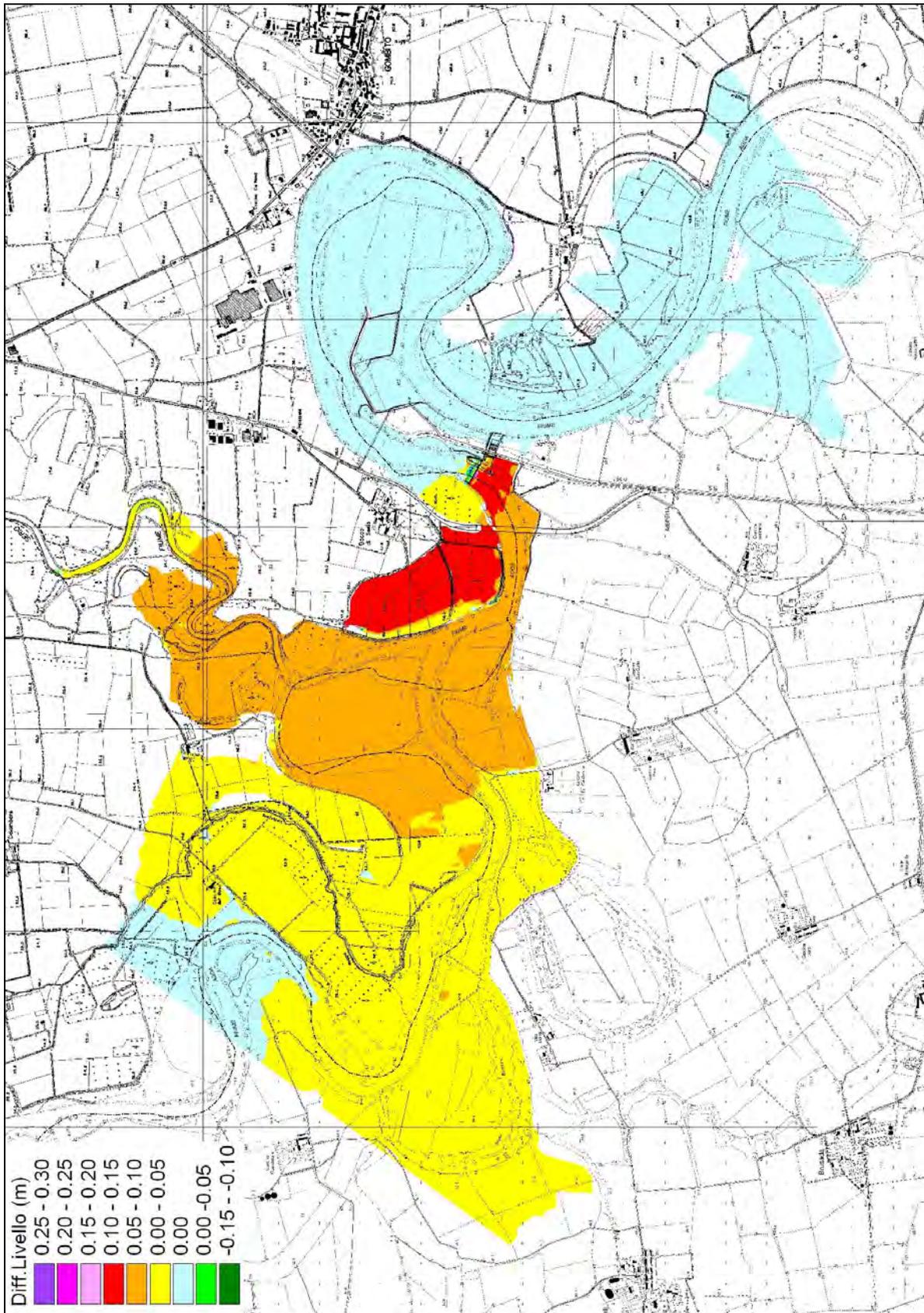


Figura 97 – TR=100 - Stato di Progetto - Carta della differenza dei Livelli Massimi

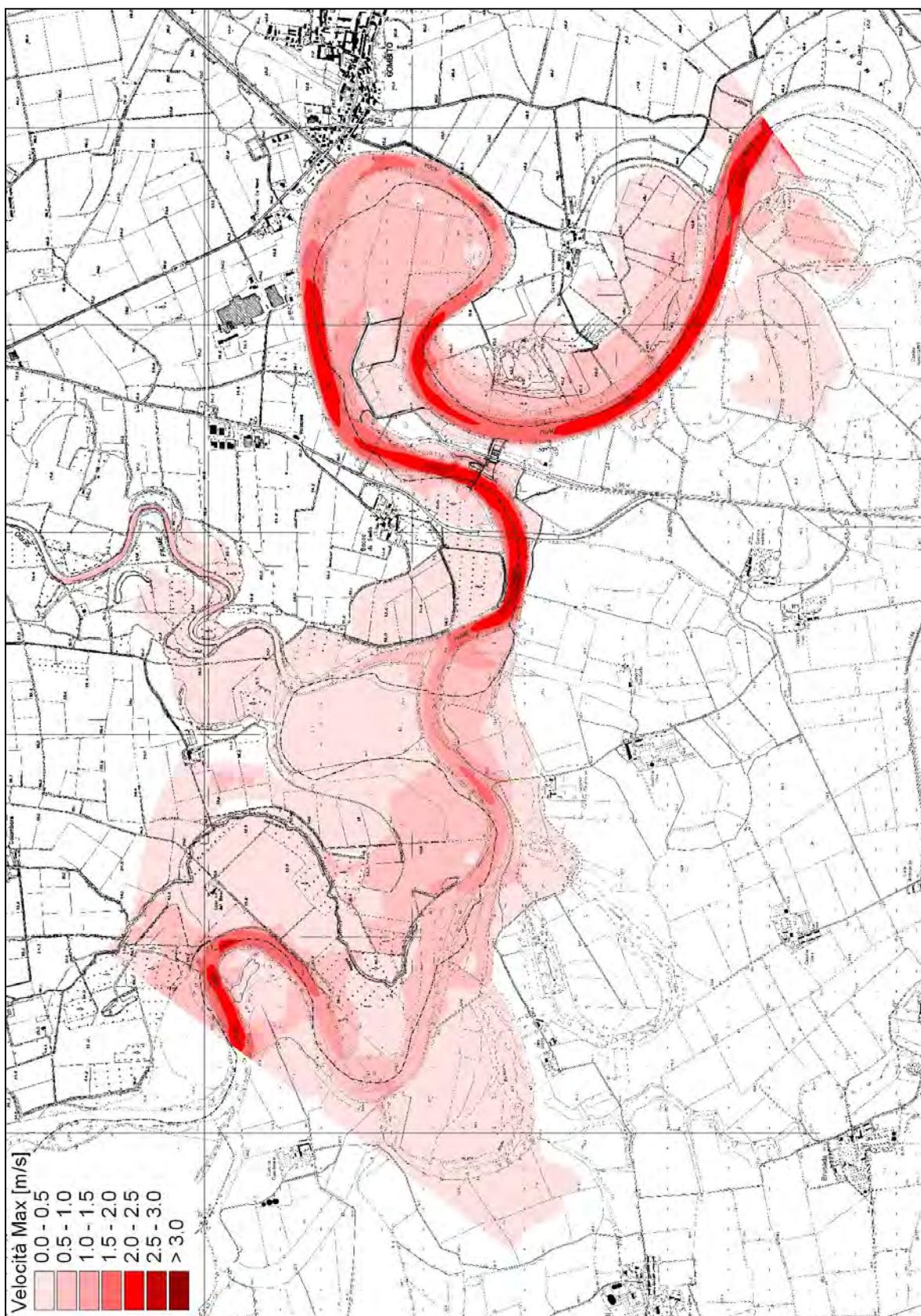


Figura 98 – TR=100 - Stato di Progetto - Carta delle Velocità Massime

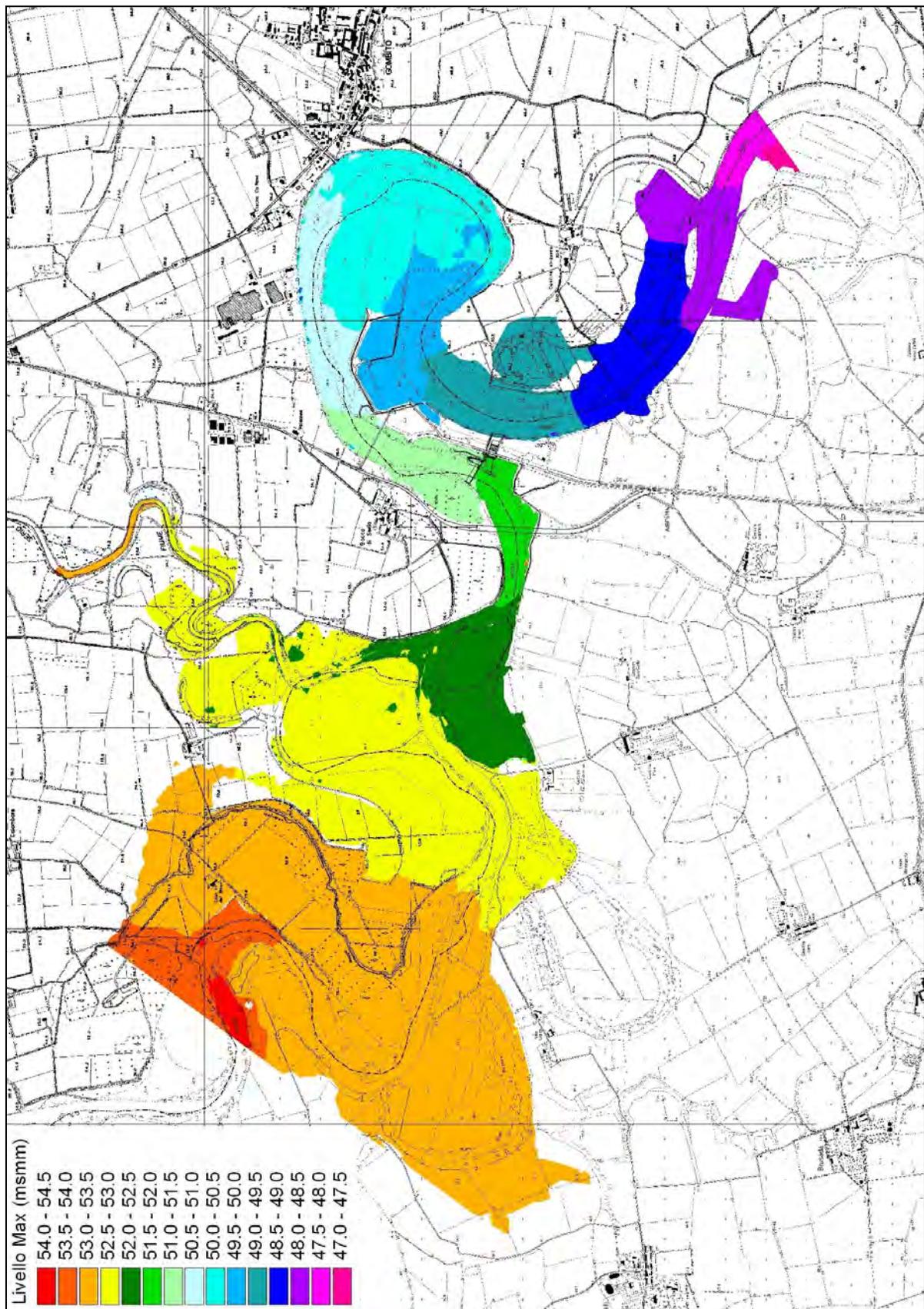


Figura 99 – TR=20 – Stato di Progetto - Carta dei Livelli Massimi

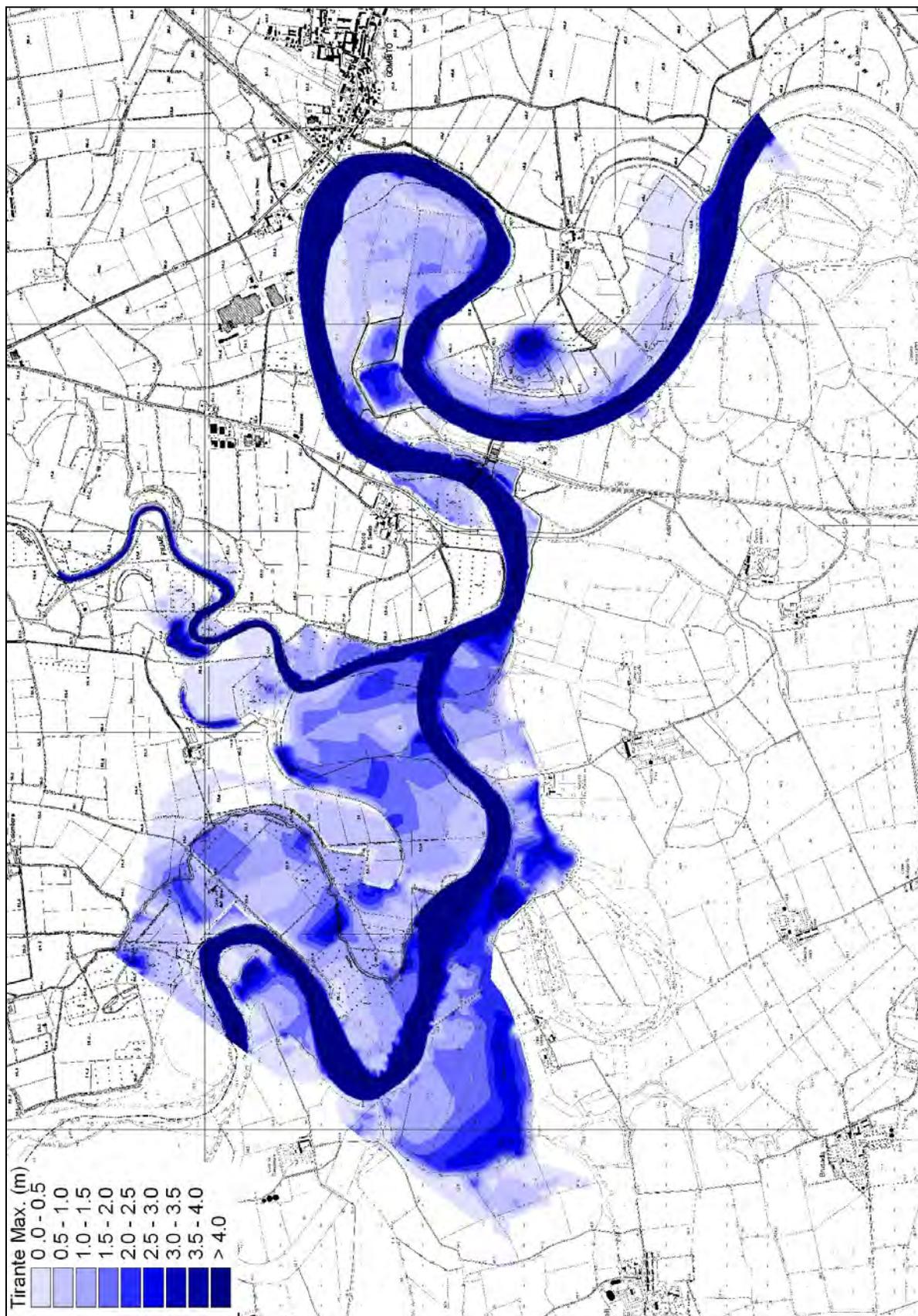


Figura 100 – TR=20 - Stato di Progetto - Carta dei Tiranti Massimi

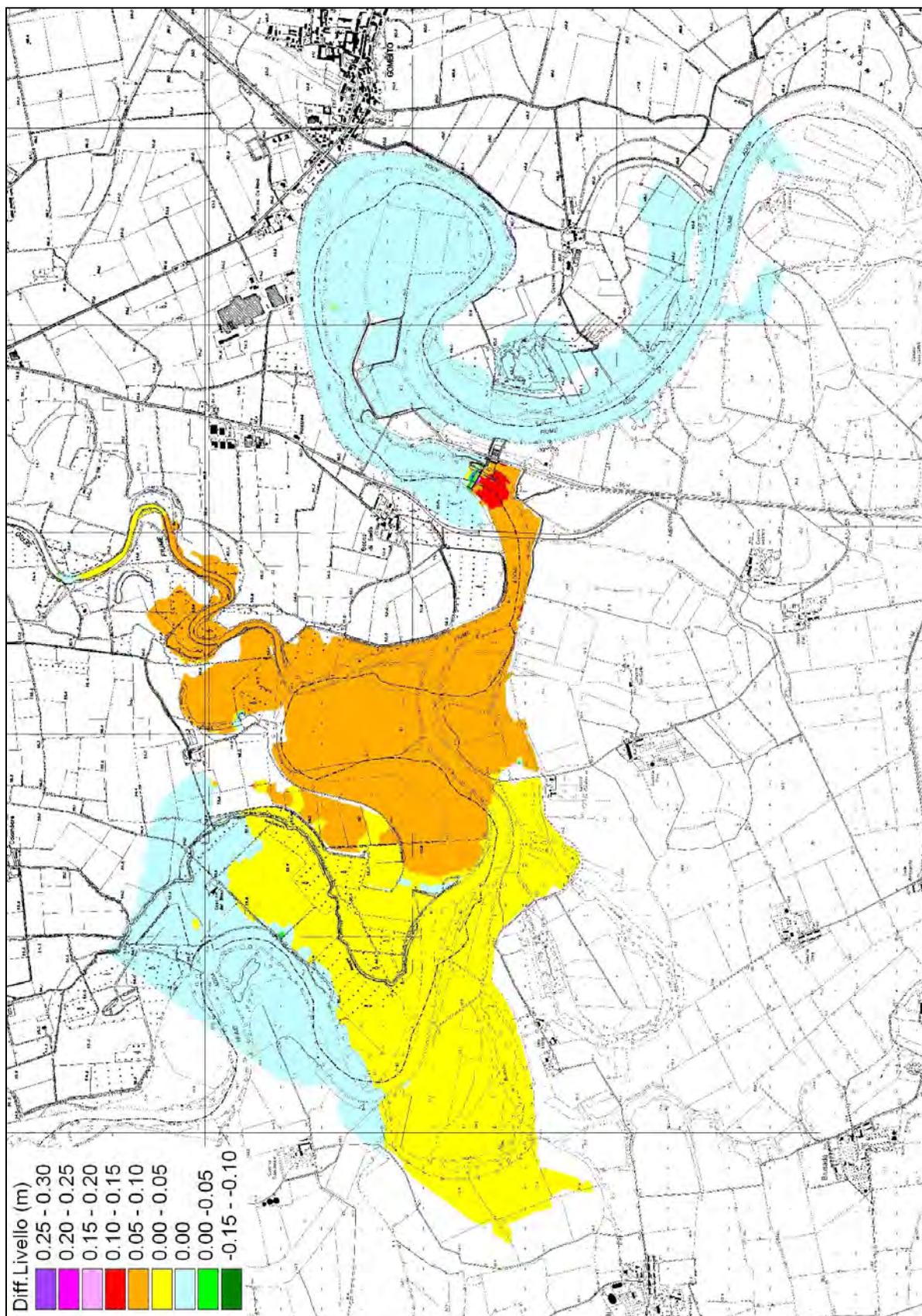


Figura 101 – TR=20 - Stato di Progetto - Carta della differenza dei Livelli Massimi

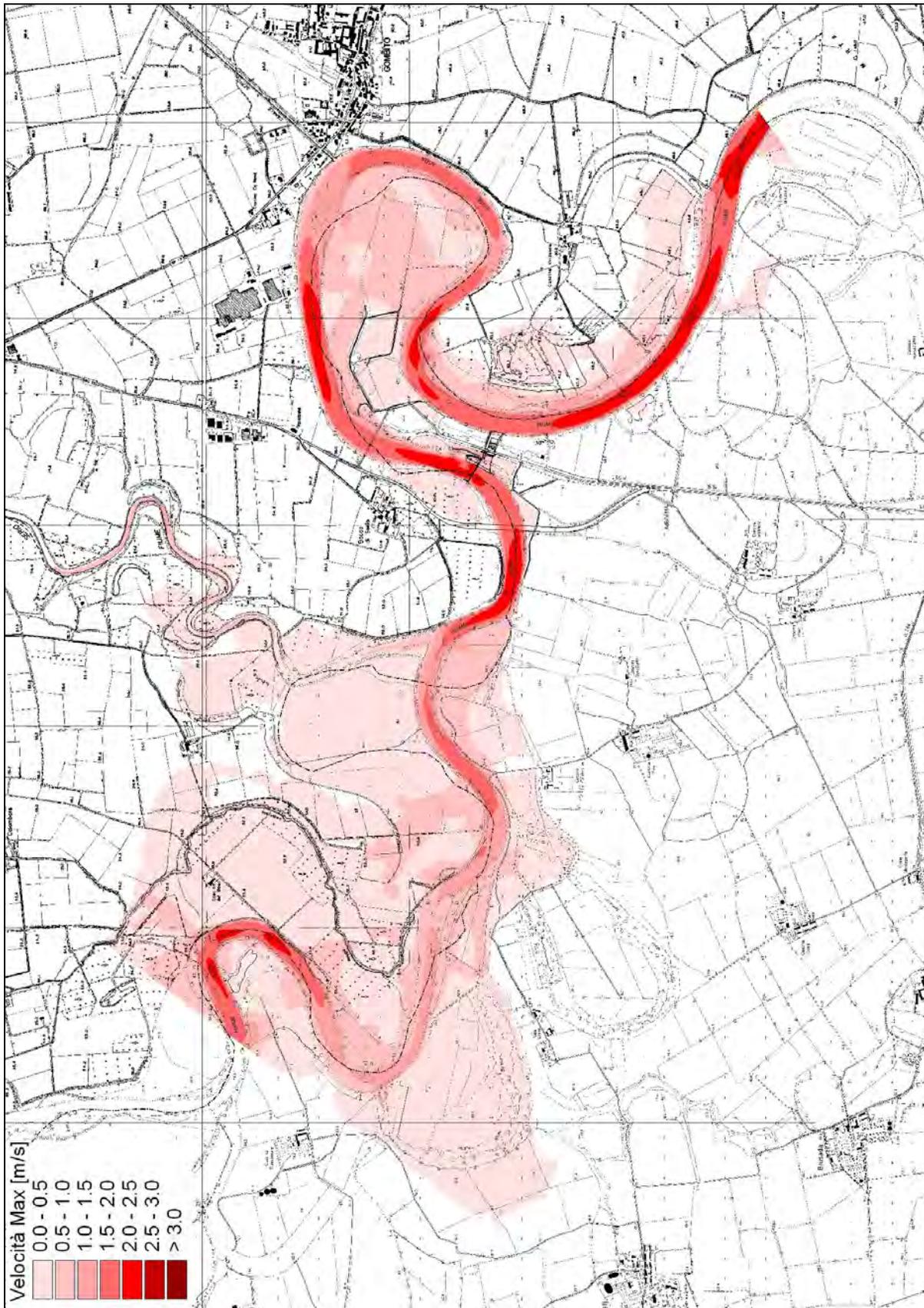


Figura 102 – TR=20 - Stato di Progetto - Carta delle Velocità Massime

### 8.6.3 Scenari di progetto con parziale funzionamento delle paratoie in caso di piena straordinaria (TR=200 anni)

Al fine di rispondere alle richieste di cui al punto E1 dei “Criteri di compatibilità con il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico” riportati nella “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B” (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI -Deliberazione n. 2 dell’11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006) e nello specifico Allegato alla deliberazione n. 8 del 21 Dicembre 2010 “Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l’uso della risorsa idrica”, si è realizzata una simulazione che prevede il malfunzionamento del 50% delle paratoie a ventola, presenti al di sopra della platea della traversa e finalizzate alla regolazione del livello a monte della presa verso l’impianto in caso di piena straordinaria, con tempo di ritorno 200 anni.

I risultati, in termini di livelli idrici massimi, sono riportati in Figura 103.

La differenza di livello, rispetto alla simulazione relativa allo stato attuale, è riportata in Figura 104.

Si riscontra che in caso di malfunzionamento del 50% delle paratoie, per portata duecentennale, rispetto allo stato attuale, si verifica un incremento di livello immediatamente a monte traversa contenuto entro circa 35 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

Come si può riscontrare dalle planimetrie allegate la strada provinciale “ex statale 591” non viene superata dall’evento alluvionale.

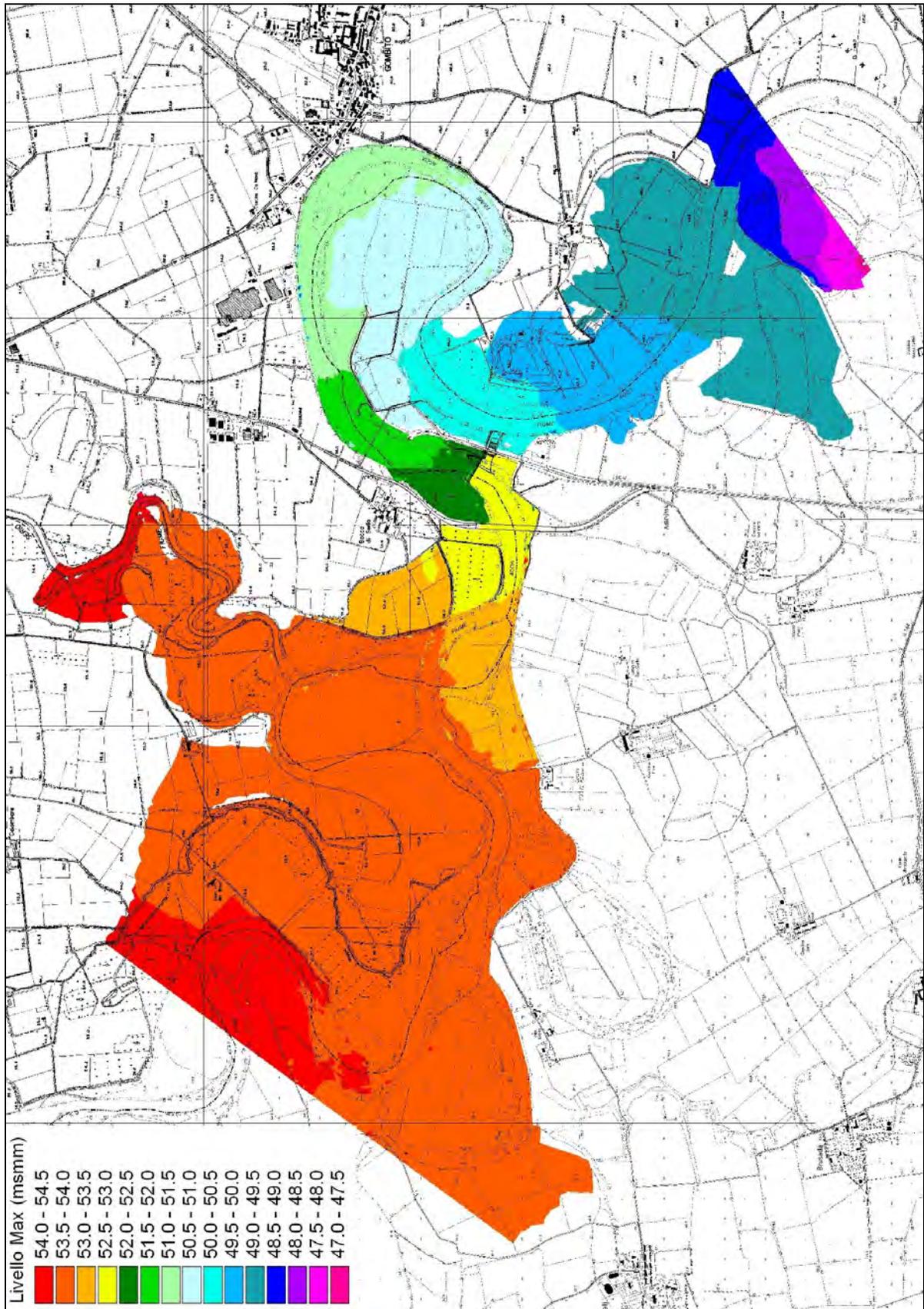


Figura 103 – TR=200 - Progetto (50% paratoie chiuse)- Carta dei Livelli Massimi

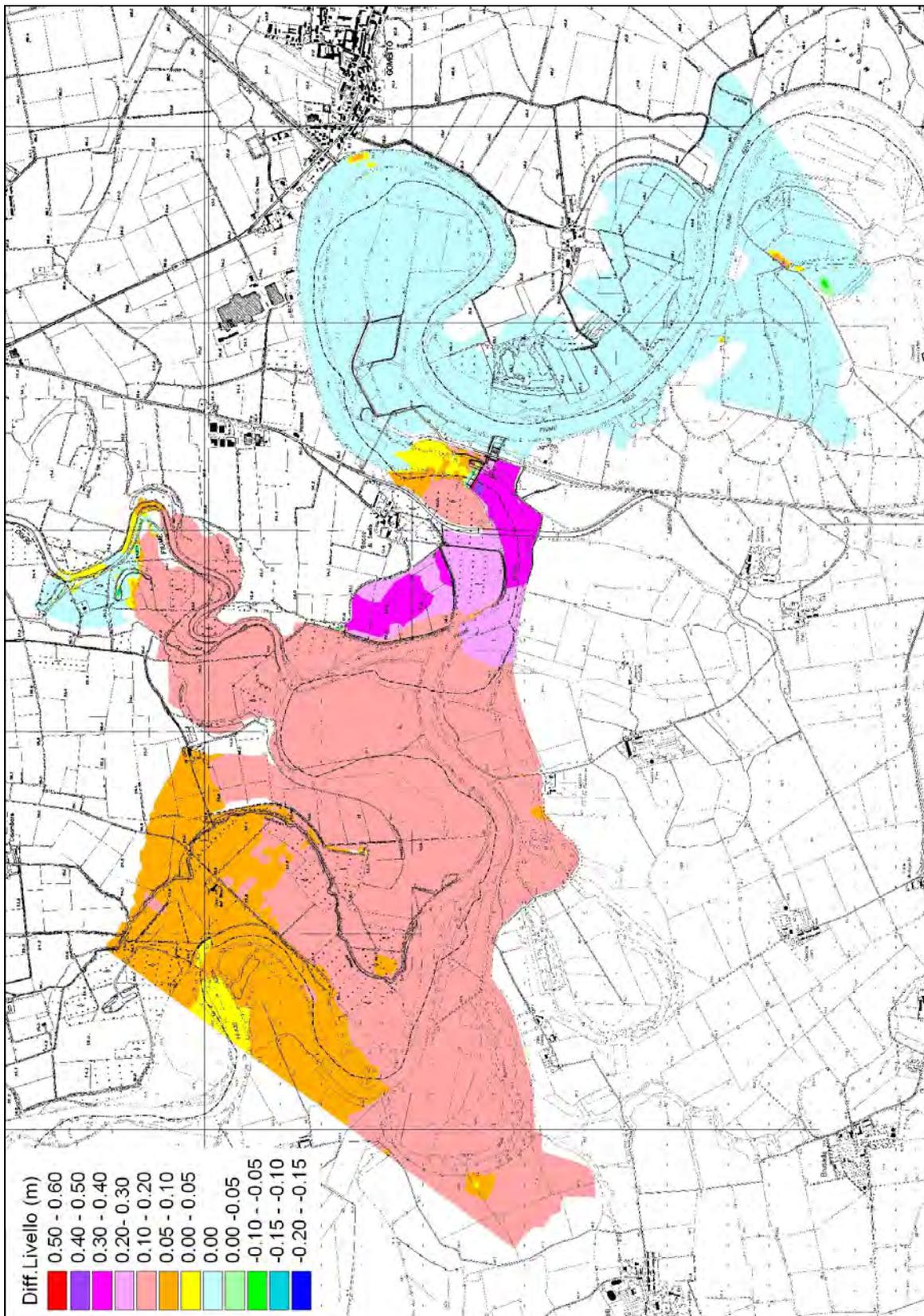


Figura 104 – TR=200 - Progetto (50% paratoie chiuse)- Carta della differenza dei livelli rispetto allo stato attuale

Per le medesime finalità, si è realizzata una simulazione che prevede il malfunzionamento del 100% delle paratoie a ventola, presenti al di sopra della traversa e finalizzate alla regolazione del livello a monte della presa verso l'impianto in caso di piena duecentennale; questo risulta essere il peggior scenario che si potrebbe verificare in caso di piena straordinaria.

I risultati, in termini di livelli idrici massimi, sono riportati in Figura 105.

La differenza di livello, rispetto alla simulazione di stato attuale, è riportata in Figura 106.

Si riscontra che in caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata duecentennale, rispetto alla situazione attuale, si verifica un incremento di livello a monte traversa contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

Come si può riscontrare dalle planimetrie allegate la strada provinciale "ex statale 591" non viene superata dall'evento alluvionale.

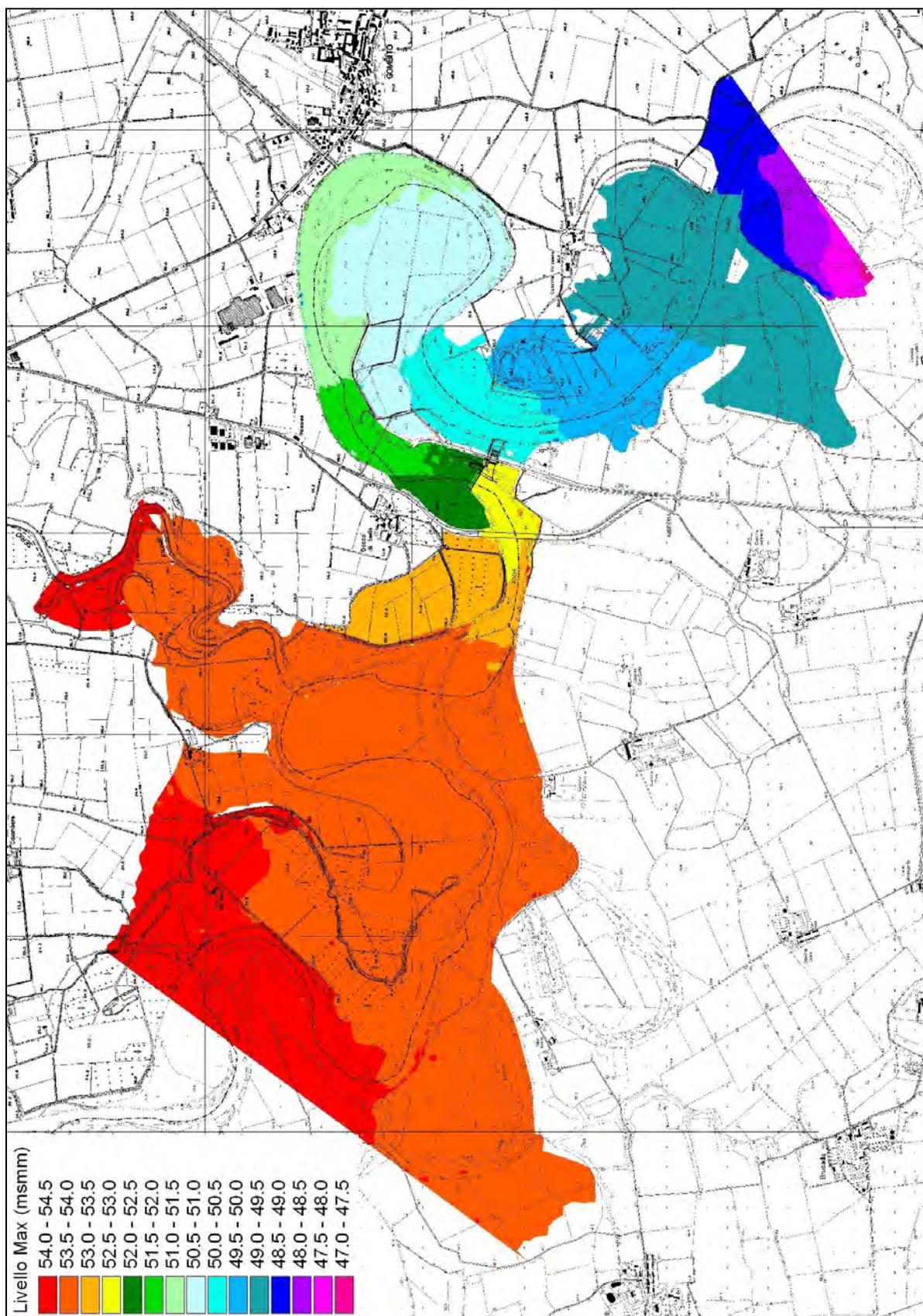


Figura 105 – TR=200 - Progetto (100% paratoie chiuse) - Carta dei Livelli Massimi

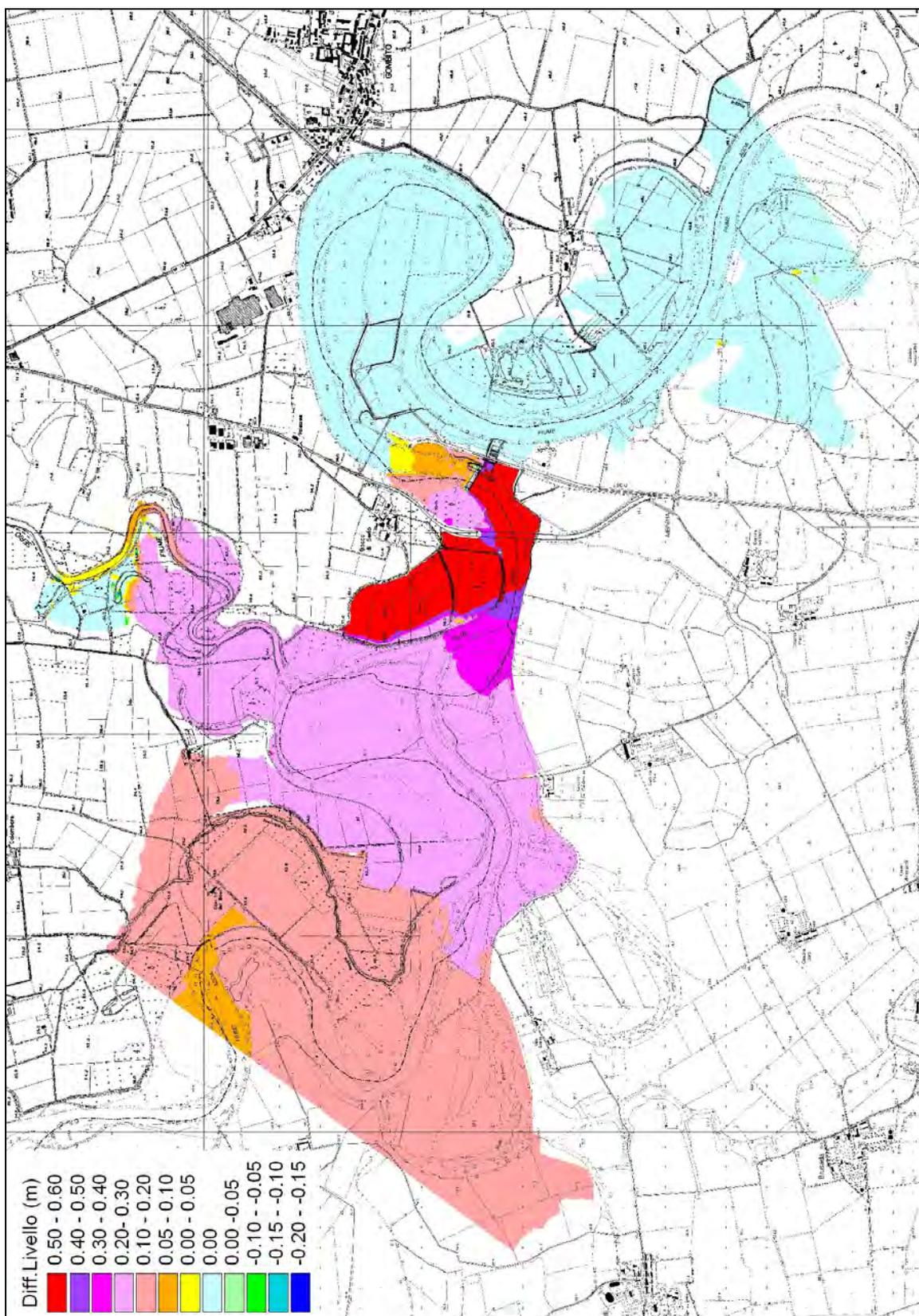


Figura 106 – TR=200 - Progetto (100% paratoie chiuse) - Carta della differenza dei livelli rispetto allo stato attuale

#### 8.6.4 Scenari di progetto con totale malfunzionamento delle paratoie in caso di piena catastrofica (TR=500 anni)

Al fine di rispondere alle richieste di cui al punto E1 dei “Criteri di compatibilità con il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico” riportati nella “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all’interno delle fasce A e B” (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI -Deliberazione n. 2 dell’11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006) e nello specifico Allegato alla deliberazione n. 8 del 21 Dicembre 2010 “Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l’uso della risorsa idrica”, si è realizzata una simulazione che prevede il malfunzionamento del 100% delle paratoie a ventola, presenti al di sopra della platea della traversa e finalizzate alla regolazione del livello a monte della presa verso l’impianto in caso di piena catastrofica, con tempo di ritorno 500 anni: le paratoie sono disposte alla massima altezza, a costituire ostacolo al deflusso della piena cinquecentennale; questo risulta essere il peggior scenario che si può verificare in caso di piena catastrofica a lungo termine.

La Figura 107 riporta la Carta dei livelli idrici massimi relativi alla simulazione di piena con tempo di ritorno 500 anni nello scenario di stato attuale.

La Figura 108 riporta la Carta dei livelli idrici massimi relativi alla simulazione nello scenario di malfunzionamento del 100% delle paratoie.

La differenza di livello fra le due simulazioni è riportata in Figura 109.

Si riscontra che in caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata cinquecentennale, si verifica un incremento di livello a monte traversa, rispetto allo stato attuale, contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

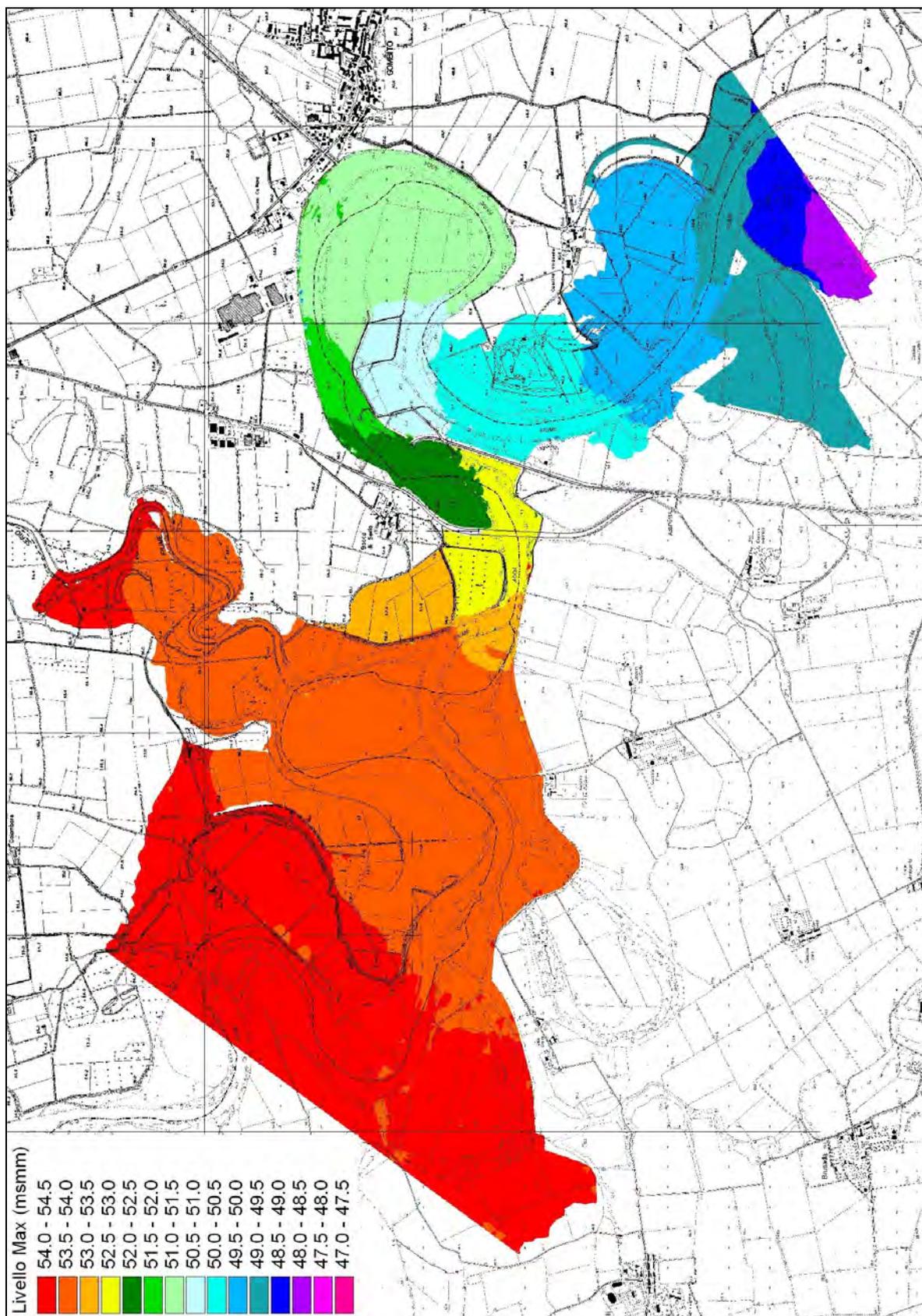


Figura 107 – TR=500 – Stato attuale - Carta dei Livelli Massimi

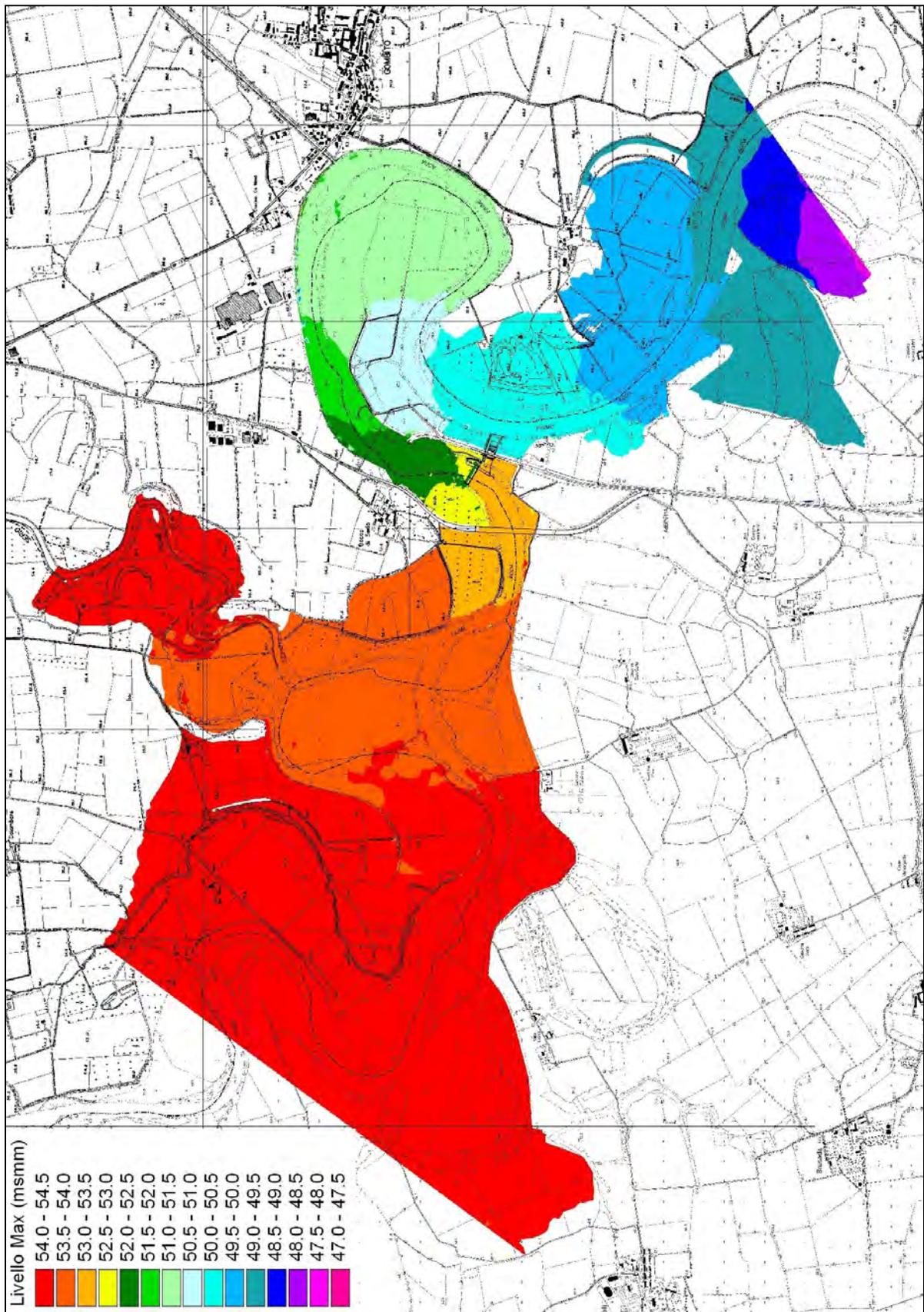


Figura 108 – TR=500 - Progetto (100% paratoie chiuse) - Carta dei Livelli Massimi

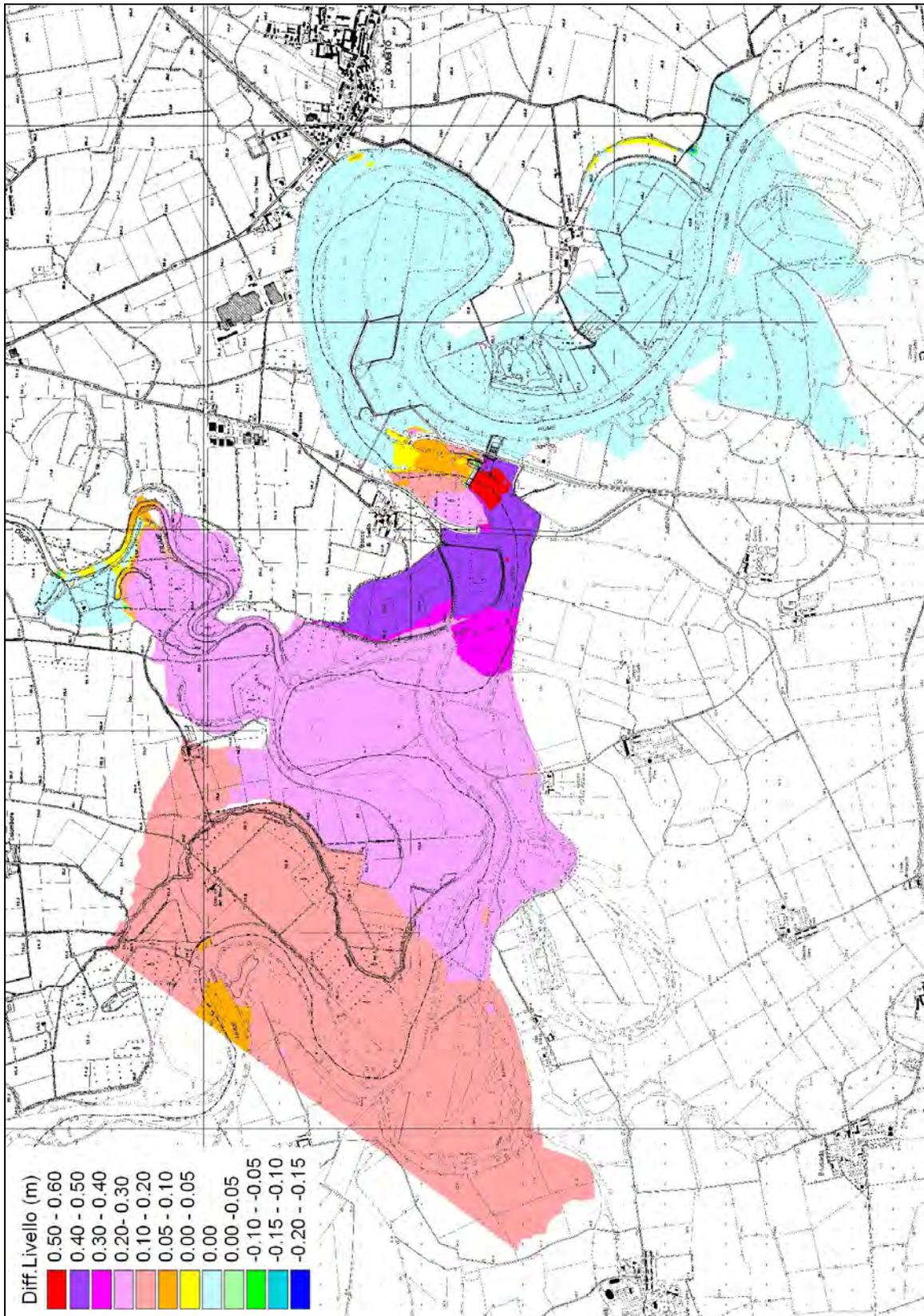


Figura 109 – TR=500 - Progetto (100% paratoie chiuse)- Carta della differenza dei livelli rispetto allo stato attuale

#### 8.6.5 Scenario con portata ordinaria pari a quella media annua $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$

Il presente scenario descrive una condizione di esercizio dell'impianto, valutata sulla portata media del f. Adda. In particolare il modello prevede una portata di monte traversa pari a  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ , di cui  $95 \text{ m}^3/\text{s}$  provenienti dal f. Adda e  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  dal f. Serio.

A valle della traversa è previsto il rilascio del Deflusso Minimo Vitale DMV pari a  $26,408 \text{ m}^3/\text{s}$ , quindi la derivazione all'impianto è pari a  $84 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La carta della differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 110 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 60 e 0 cm.

I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i fiumi Adda e Serio si annullano a estremo modello.

Oltre al caso precedente, si è analizzato uno scenario con rilascio di DMV a valle della traversa e della "quota" irrigua pari a totali  $34,775 \text{ m}^3/\text{s}$ , con conseguente derivazione dell'impianto pari a  $75 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La carta della differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 90 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 50 e 0 cm.

I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

**La Proponente provvede comunque ad installare una serie di idrometri ad immersione a celle di carico per il monitoraggio dei livelli idraulici del fiume Adda, al fine di confrontarli con l'andamento piezometrico della falda ed individuare il rapporto di influenza.**

**In tale occasione viene avviata una campagna di misura in continuo della portata del Fiume in condizioni diverse per individuare le scale di deflusso delle sezioni di rilievo idrometrico al fine di migliorare il modello idraulico bidimensionale per la valutazione delle condizioni ordinarie.**

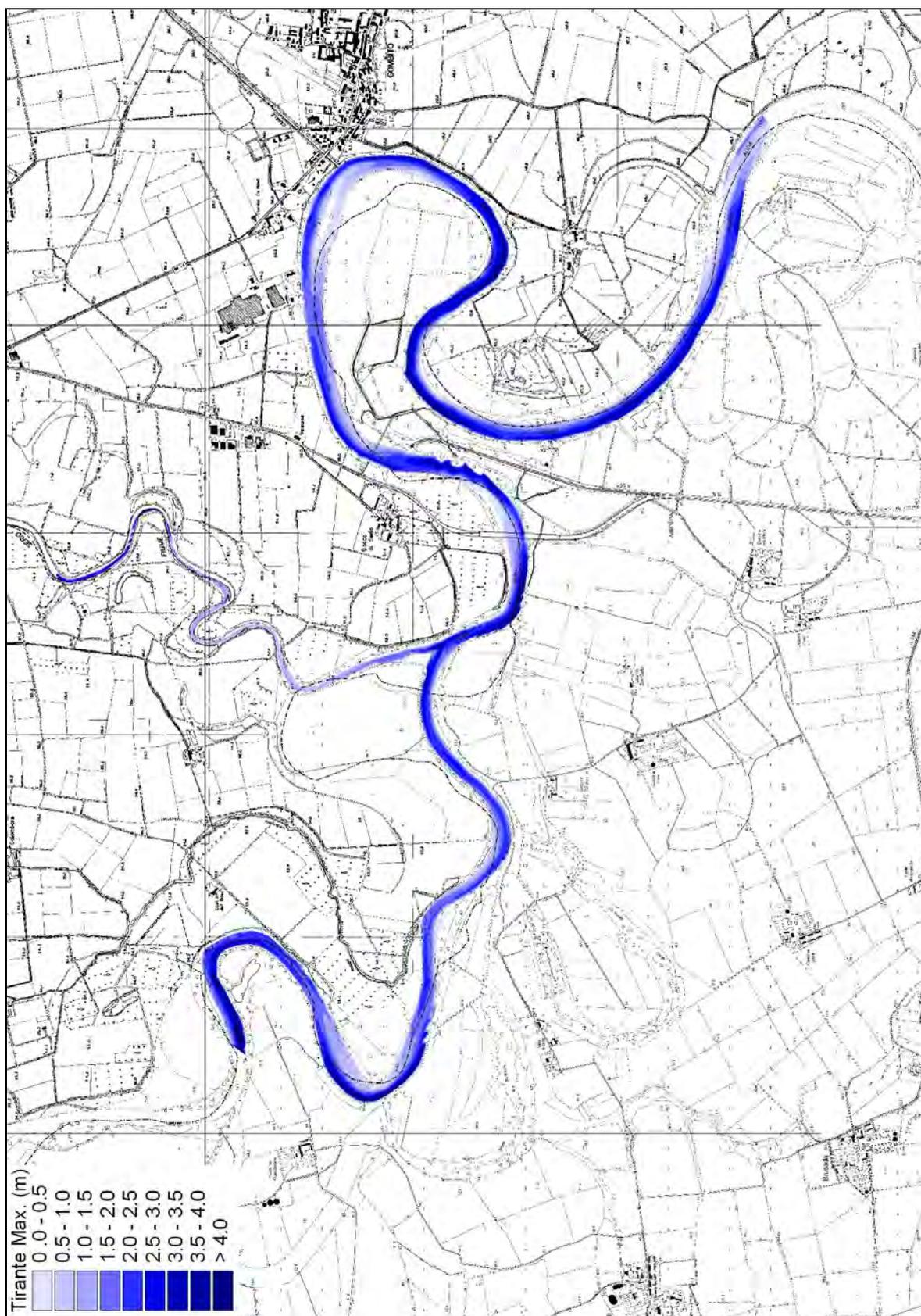


Figura 110 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta dei Tiranti

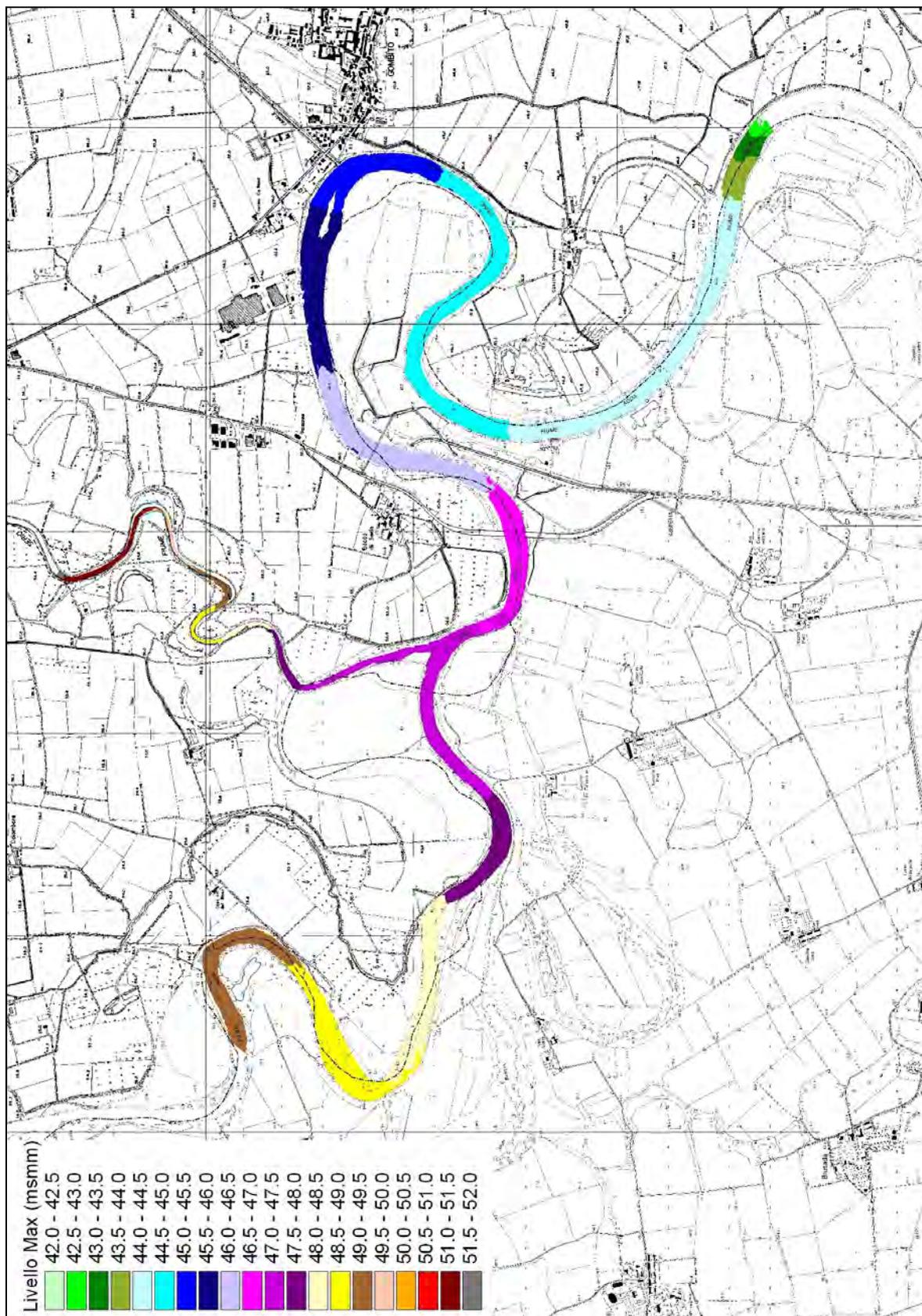


Figura 111 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta dei Livelli

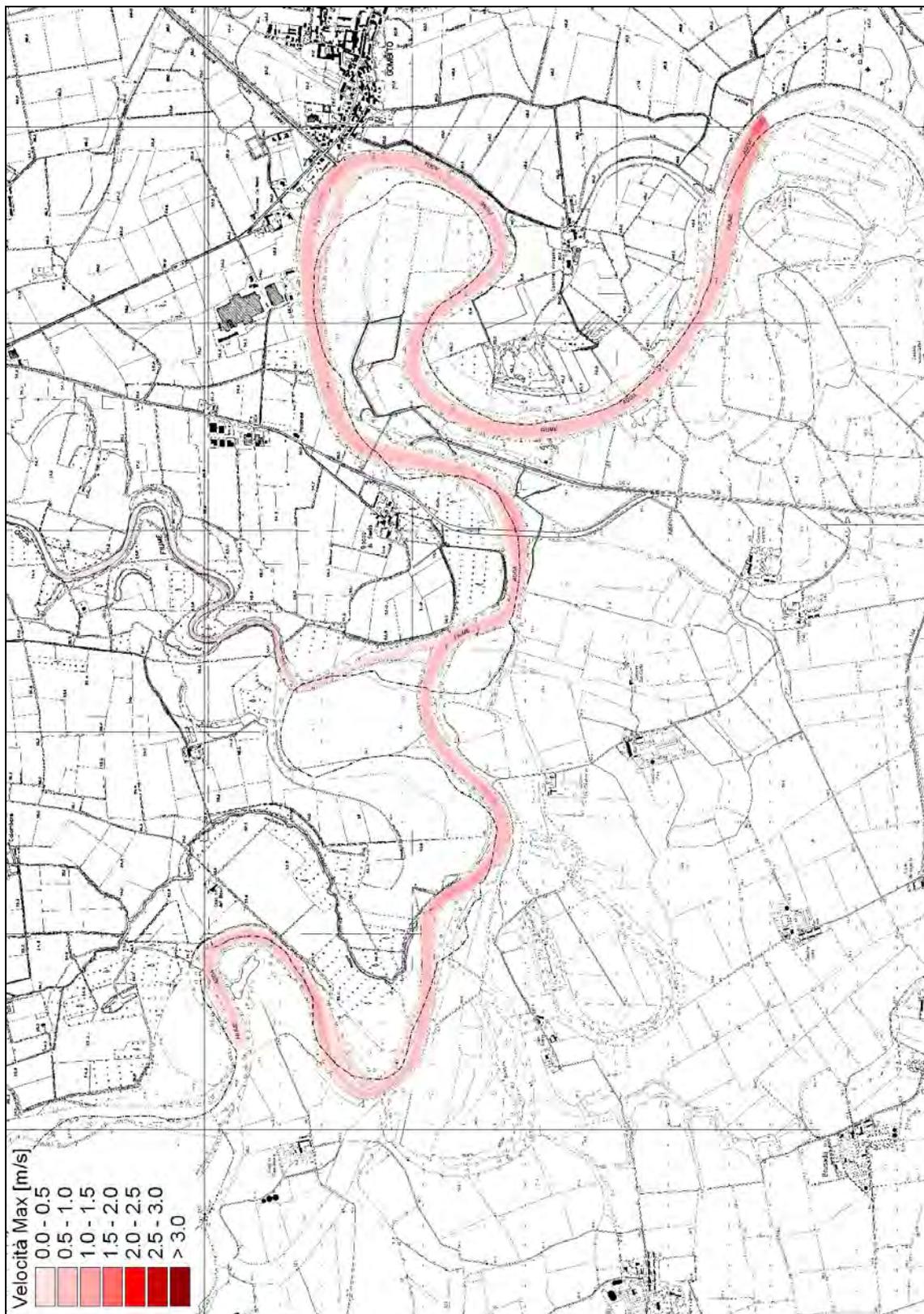


Figura 112 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta delle Velocità

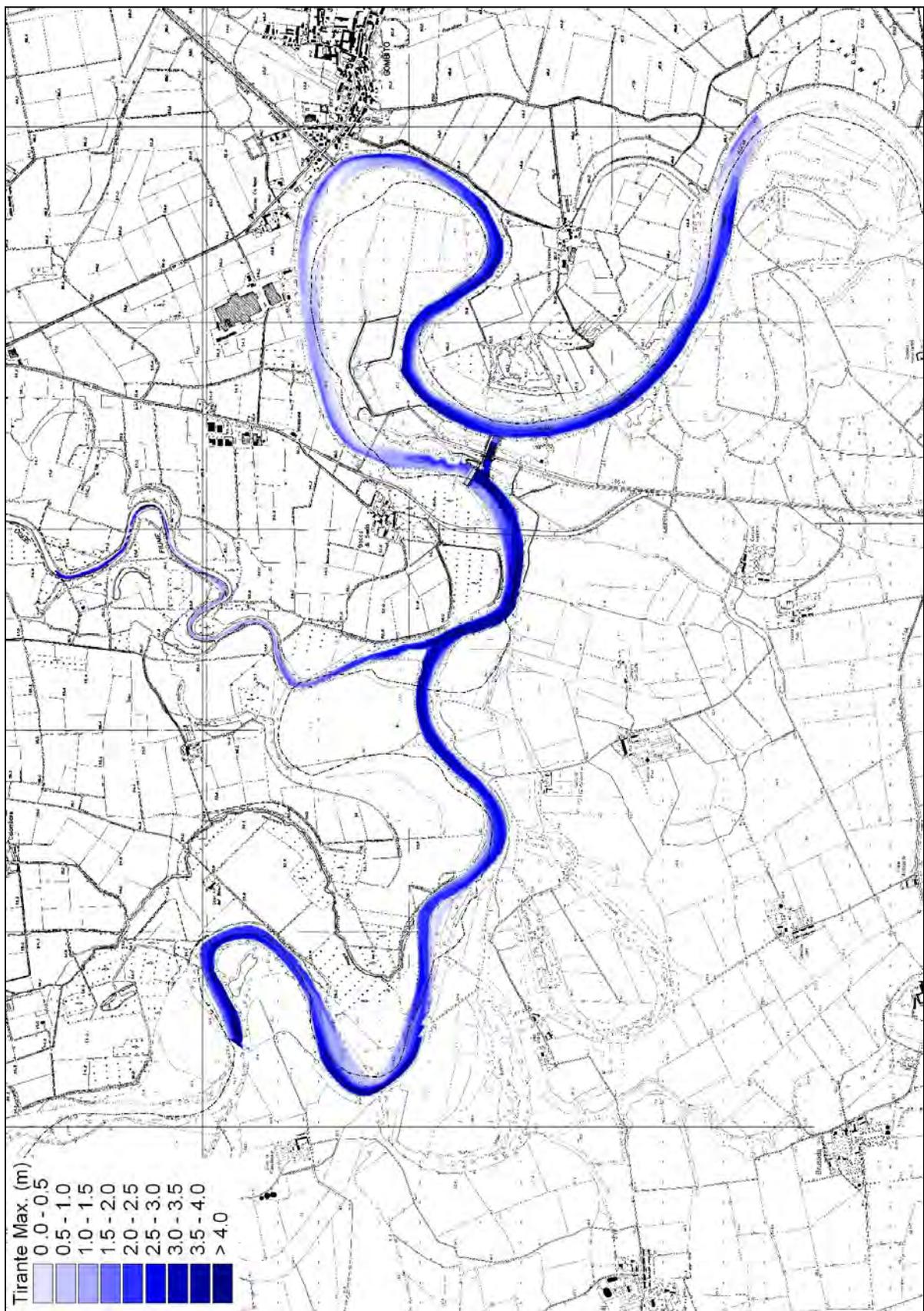


Figura 113 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=26 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta dei Tiranti

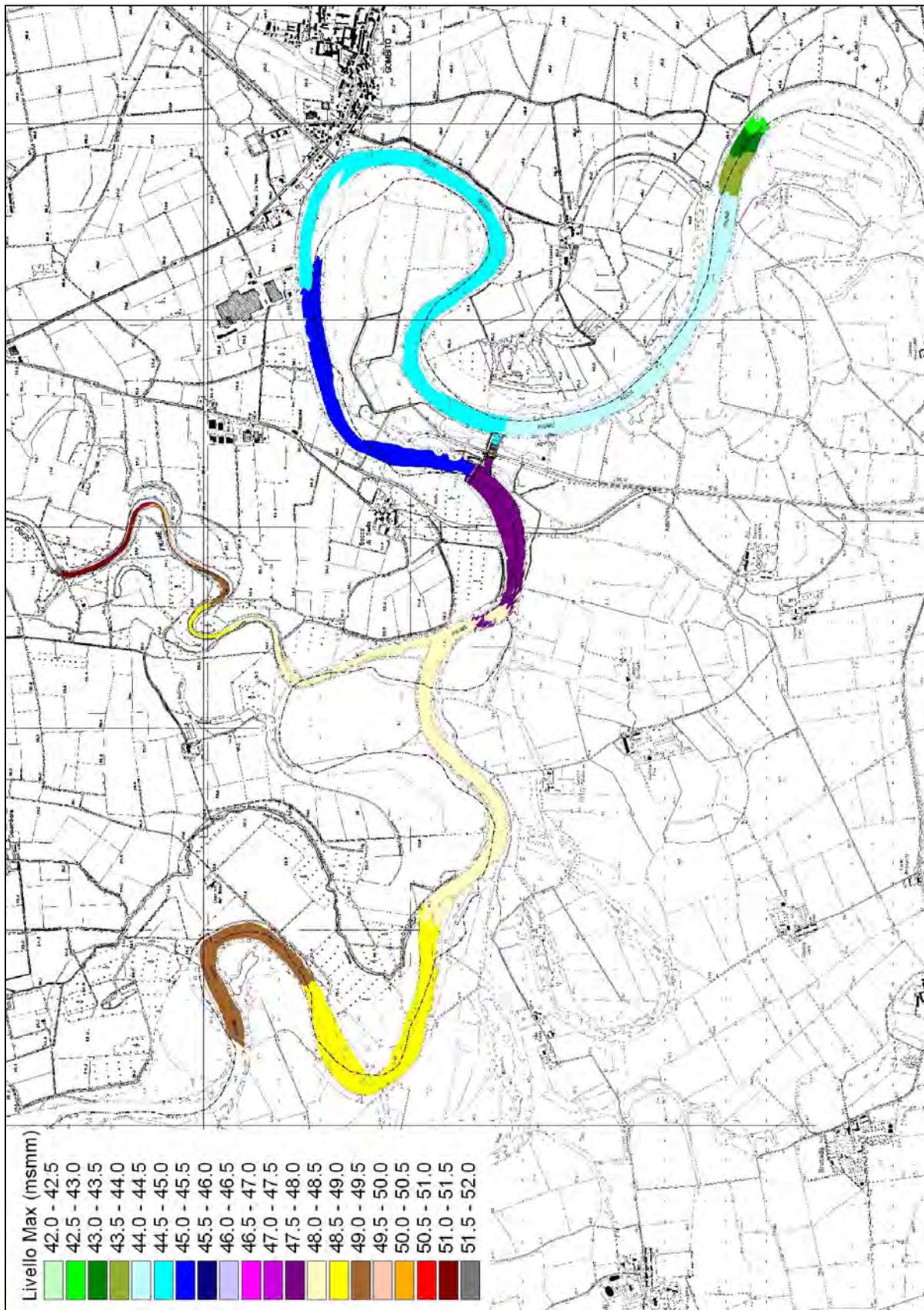


Figura 114 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=26 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta dei Livelli

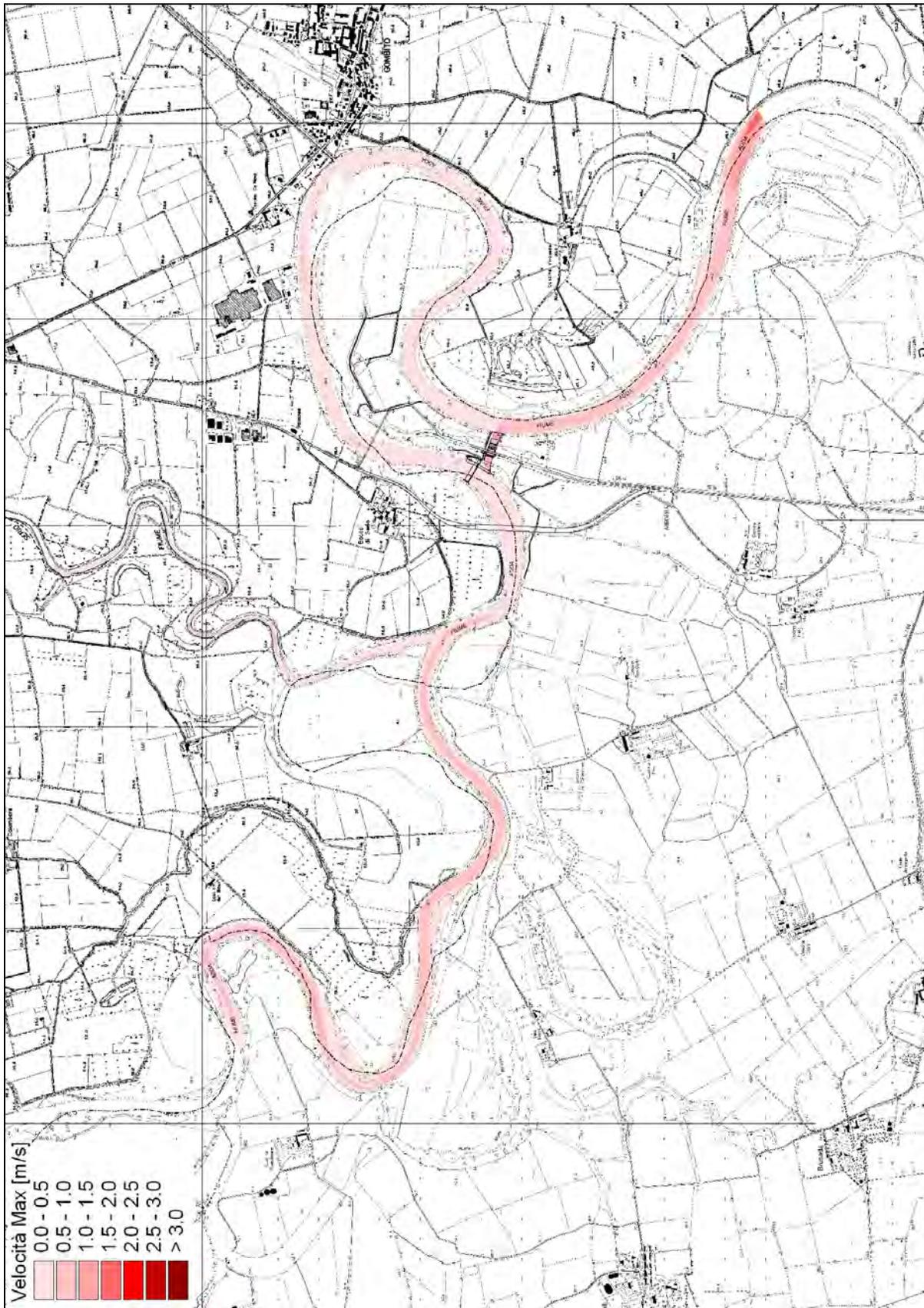


Figura 115 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=26 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta delle Velocità

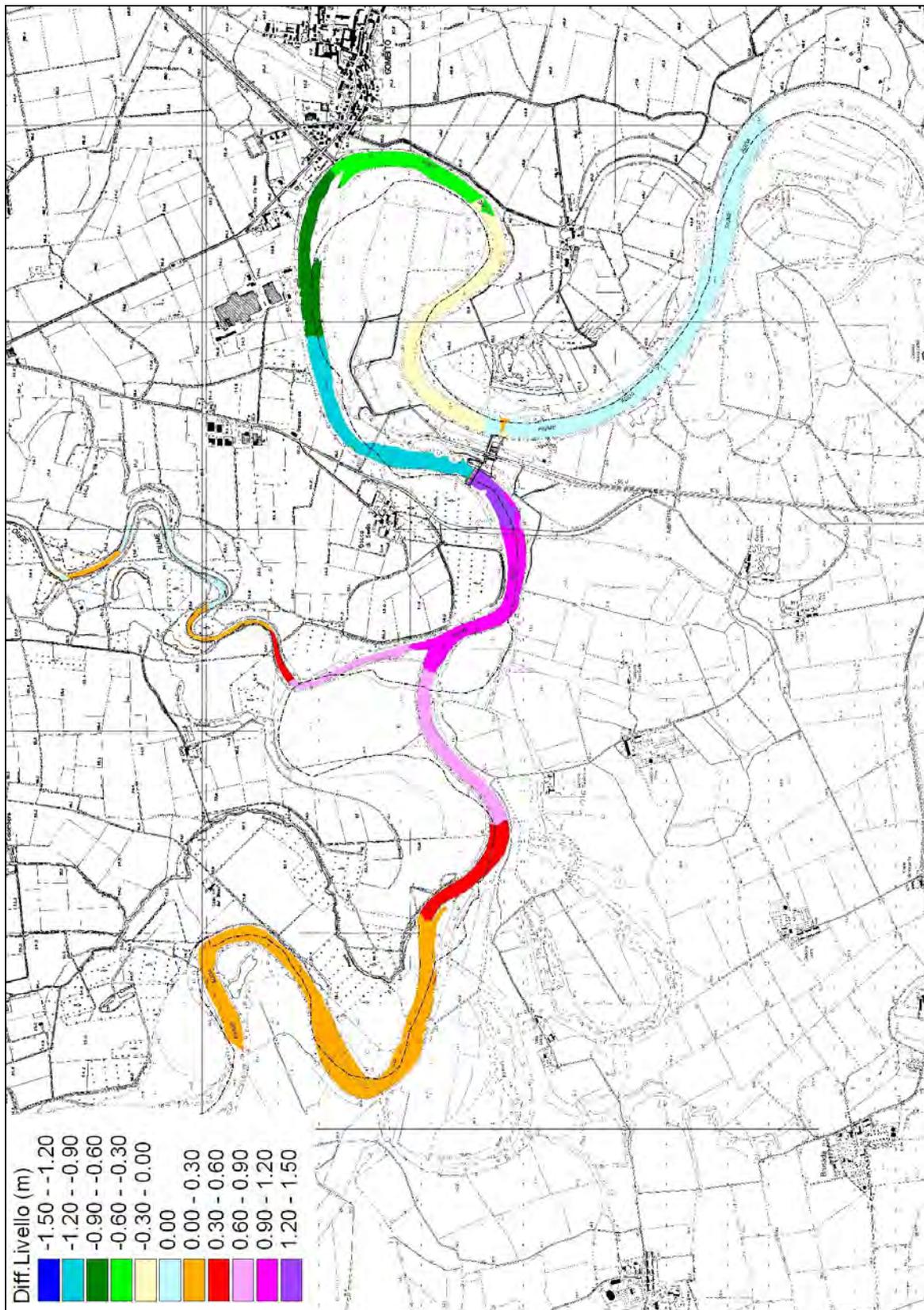


Figura 116 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=26 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta della Differenza dei Livelli rispetto allo stato attuale

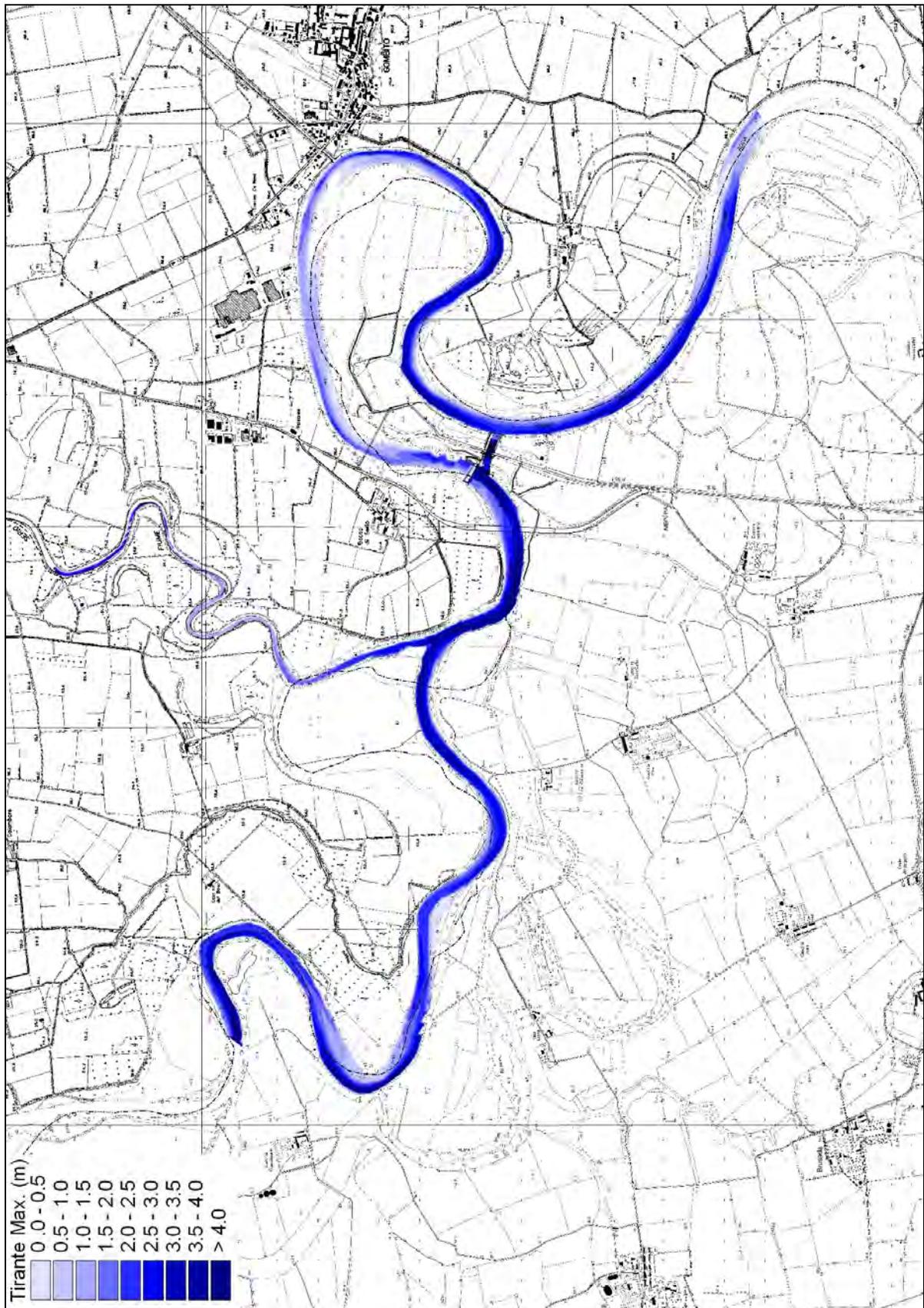


Figura 117 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=35 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta dei Tiranti

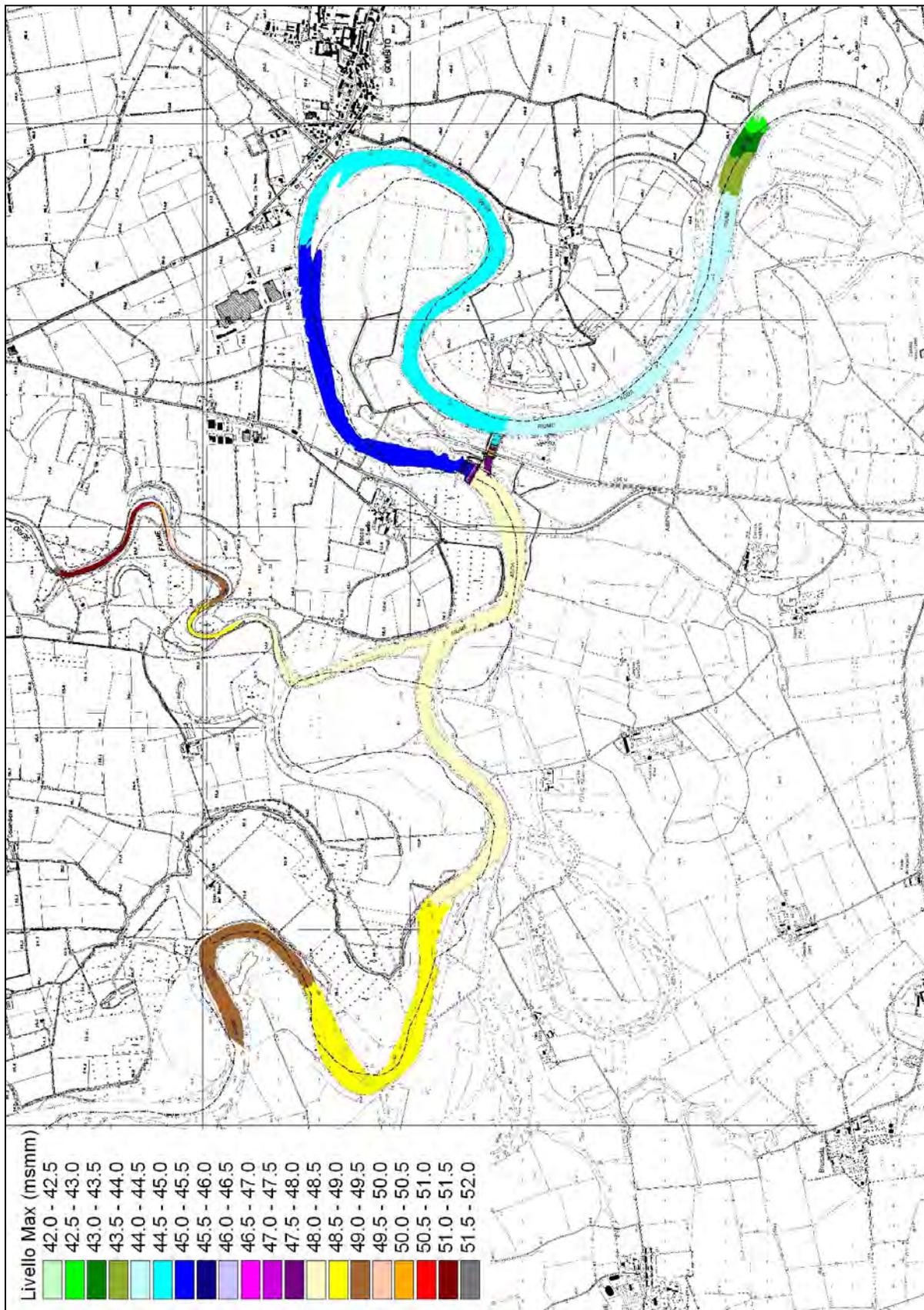


Figura 118 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=35 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta dei Livelli

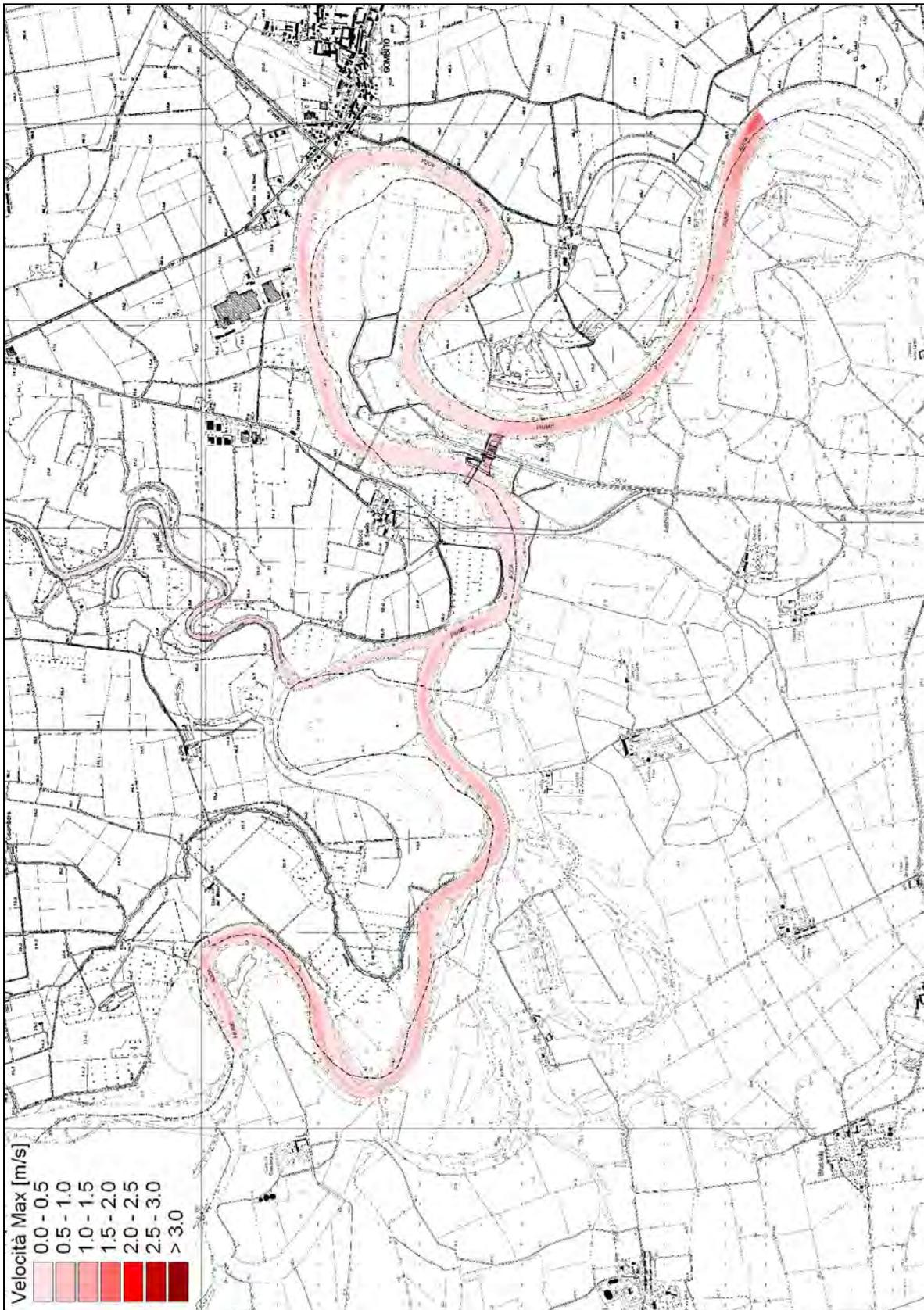


Figura 119 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=35 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta delle Velocità

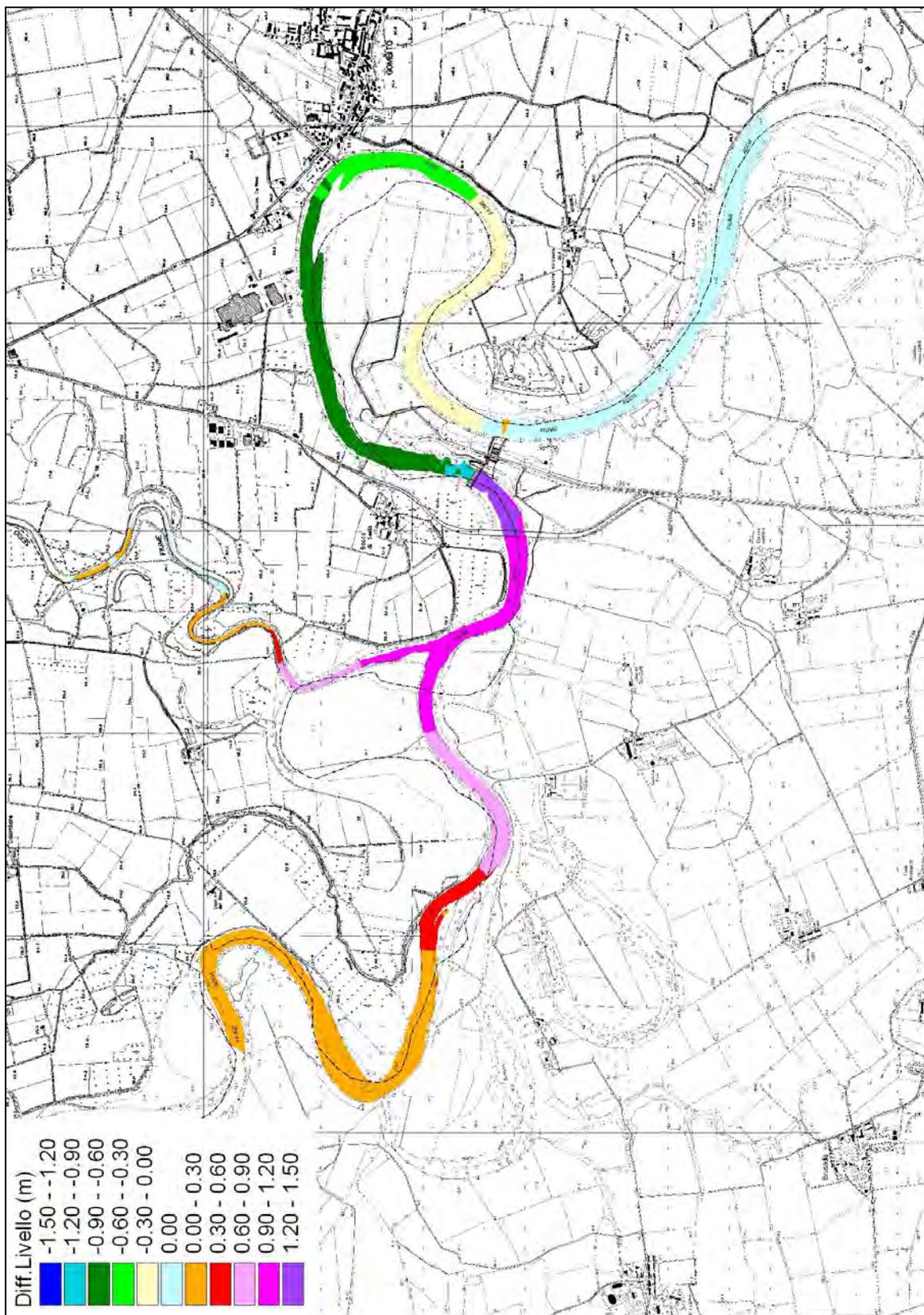


Figura 120 –  $Q_{tot}=110 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto –  $DMV=35 \text{ m}^3/\text{s}$  - Carta della Differenza dei Livelli rispetto allo stato attuale

#### 8.6.6 Scenario di progetto con portate ordinarie portate corrispondente alla $Q_{max}$ derivata dall'impianto ovvero $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$

Il presente scenario descrive una condizione di esercizio dell'impianto, per la quale l'impianto tratta il massimo della portata, pari a  $150 \text{ m}^3/\text{s}$ , e a valle della traversa è rilasciato il DMV, pari a  $26,448 \text{ m}^3/\text{s}$ . Questa simulazione è valida nel periodo compreso

Il modello prevede quindi una portata di monte traversa pari a  $176 \text{ m}^3/\text{s}$ , di cui  $152 \text{ m}^3/\text{s}$  provenienti dal f. Adda e  $24 \text{ m}^3/\text{s}$  dal f. Serio.

Tale simulazione consente di indagare la capacità erosiva della corrente al rilascio della centrale, in corrispondenza della sponda sinistra del fiume Adda, di separazione del lago di cava.

La carta della differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno a 150 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 80 e 0 cm.

I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

La Figura 128 mostra l'intensità e la direzione dei vettori velocità alla restituzione in f. Adda. E' possibile notare un modesto vortice a monte della restituzione, dovuto al rigurgito verso monte; in corrispondenza della restituzione in f. Adda, la velocità sulla sponda sinistra risulta assai modesta, inferiore a  $0.50 \text{ m/s}$ , per cui si ritiene debole la capacità erosiva in sponda sinistra f. Adda. All'interno del canale di restituzione si arriva invece a velocità dell'ordine di  $2 \text{ m/s}$ ; tale impulso viene smorzato immediatamente in alveo principale, per l'effetto dell'incontro con la portata di monte defluente in esso.

Come già detto precedentemente la Proponente provvede comunque ad installare una serie di idrometri ad immersione a celle di carico per il monitoraggio dei livelli idraulici del fiume Adda, al fine di confrontarli con l'andamento piezometrico della falda ed individuare il rapporto di influenza.

In tale occasione viene avviata una campagna di misura in continuo della portata del Fiume in condizioni diverse per individuare le scale di deflusso delle sezioni di rilievo idrometrico al fine di migliorare il modello idraulico bidimensionale per la valutazione delle condizioni ordinarie.

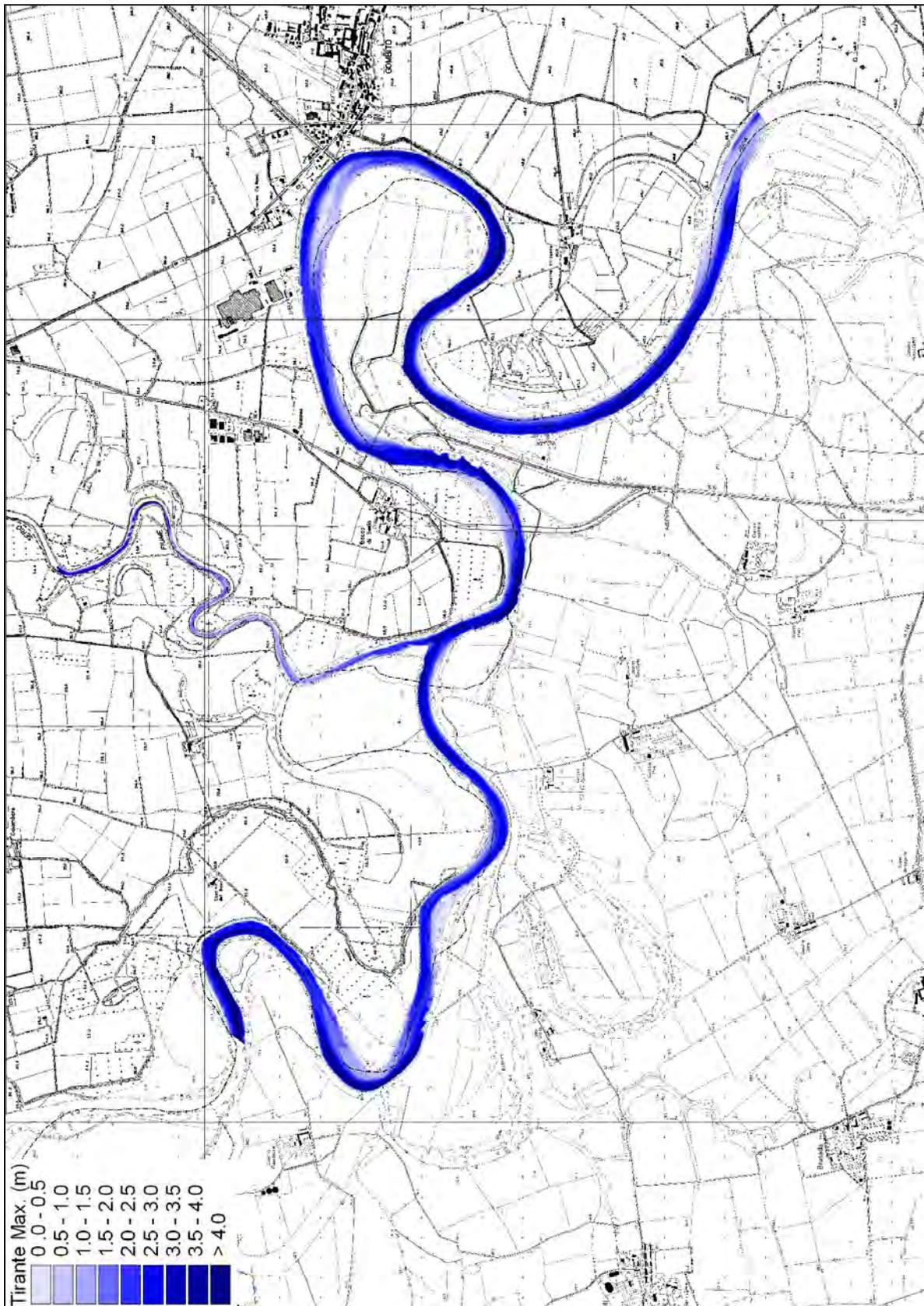


Figura 121 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta dei Tiranti Massimi

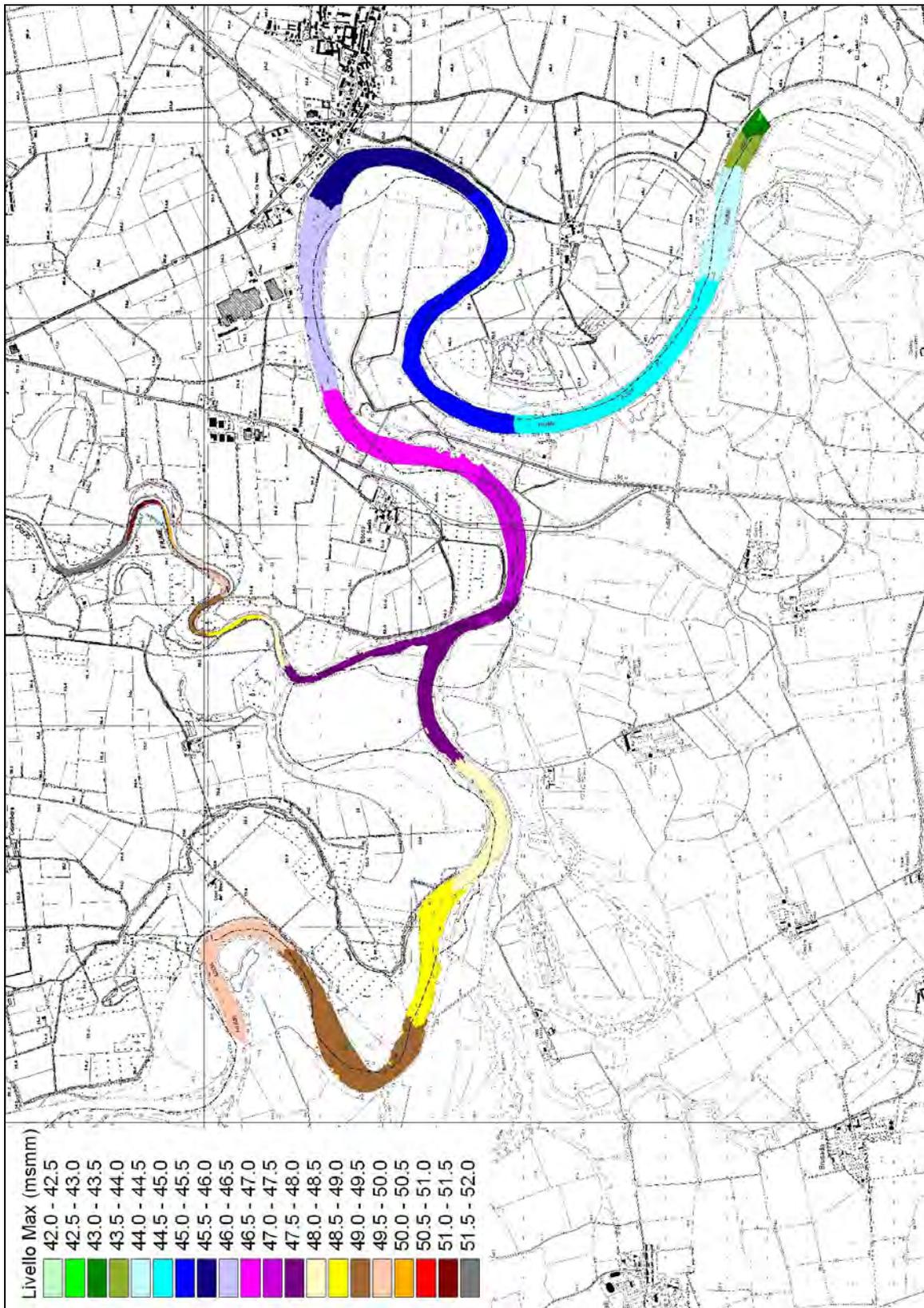


Figura 122 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta dei Livelli

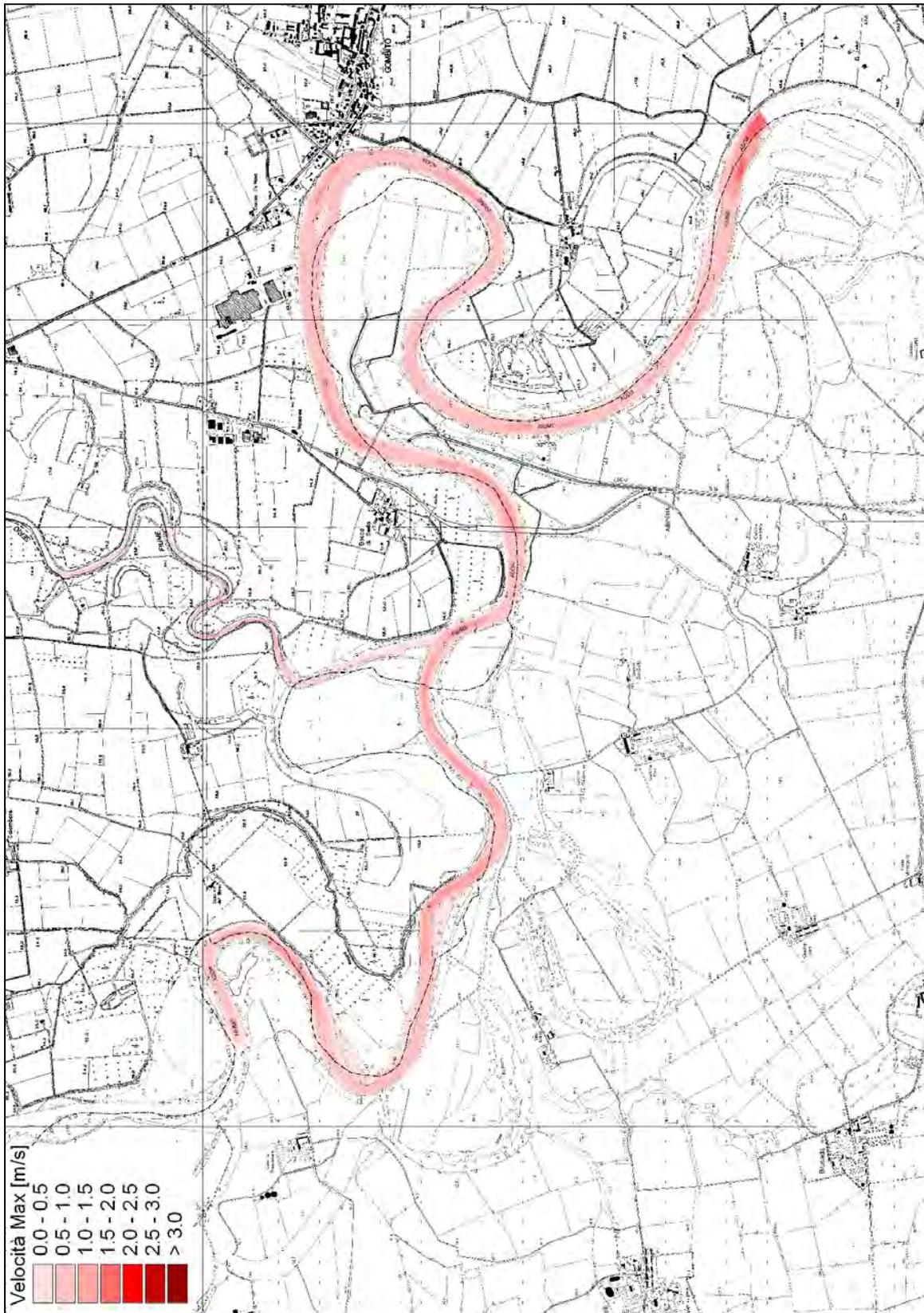


Figura 123 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato attuale - Carta delle Velocità

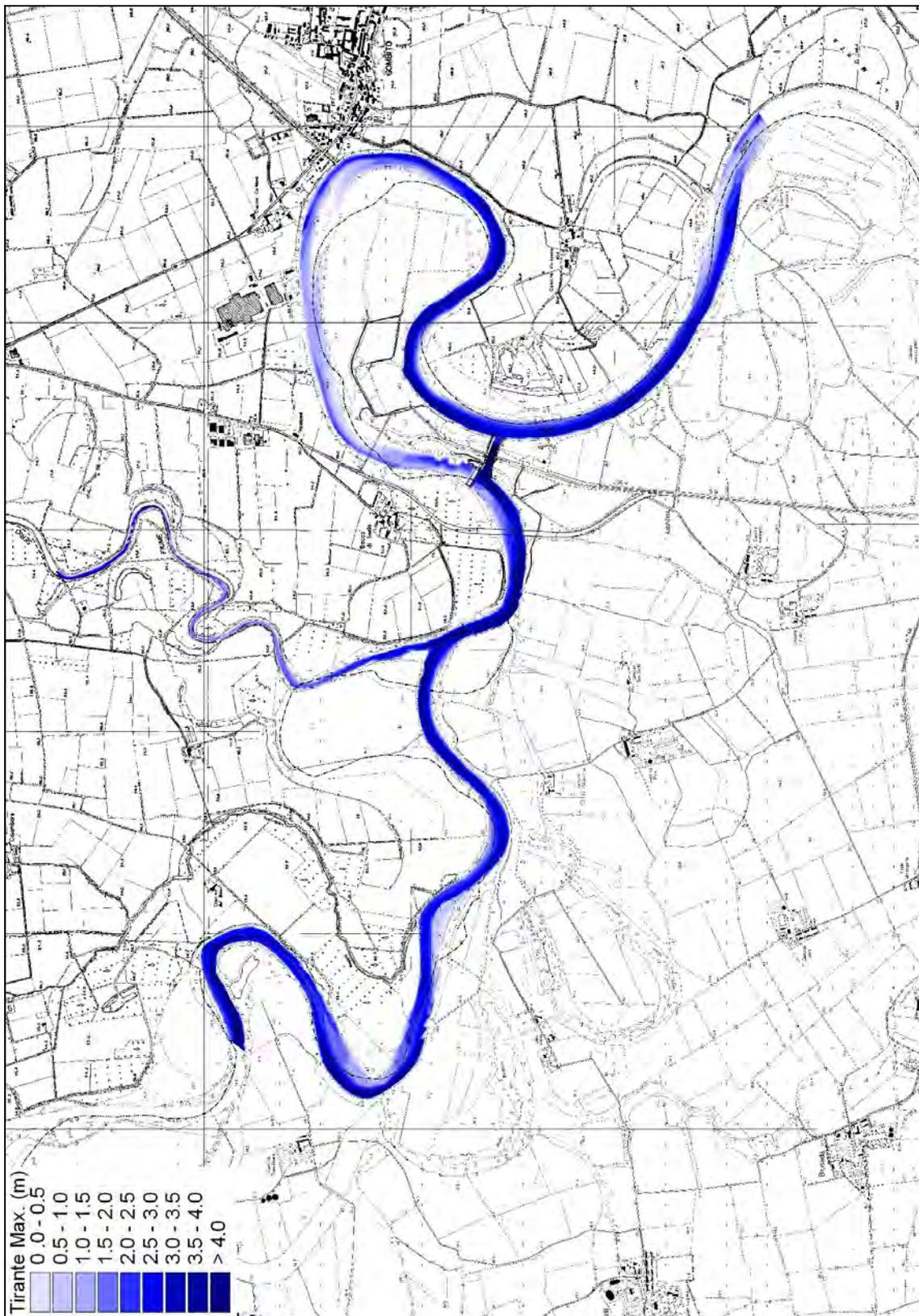


Figura 124 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto - Carta dei Tiranti

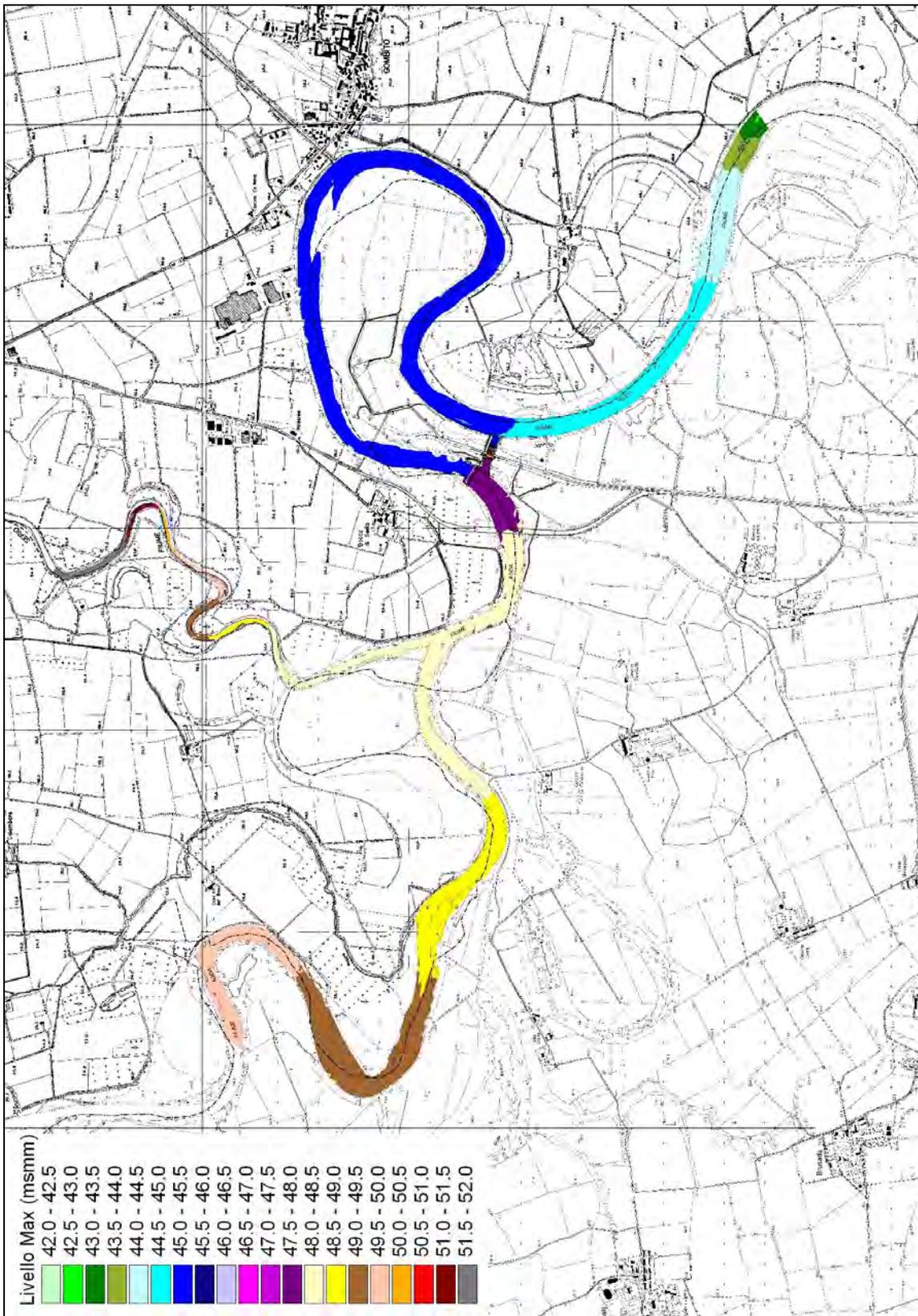


Figura 125 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto - Carta dei Livelli

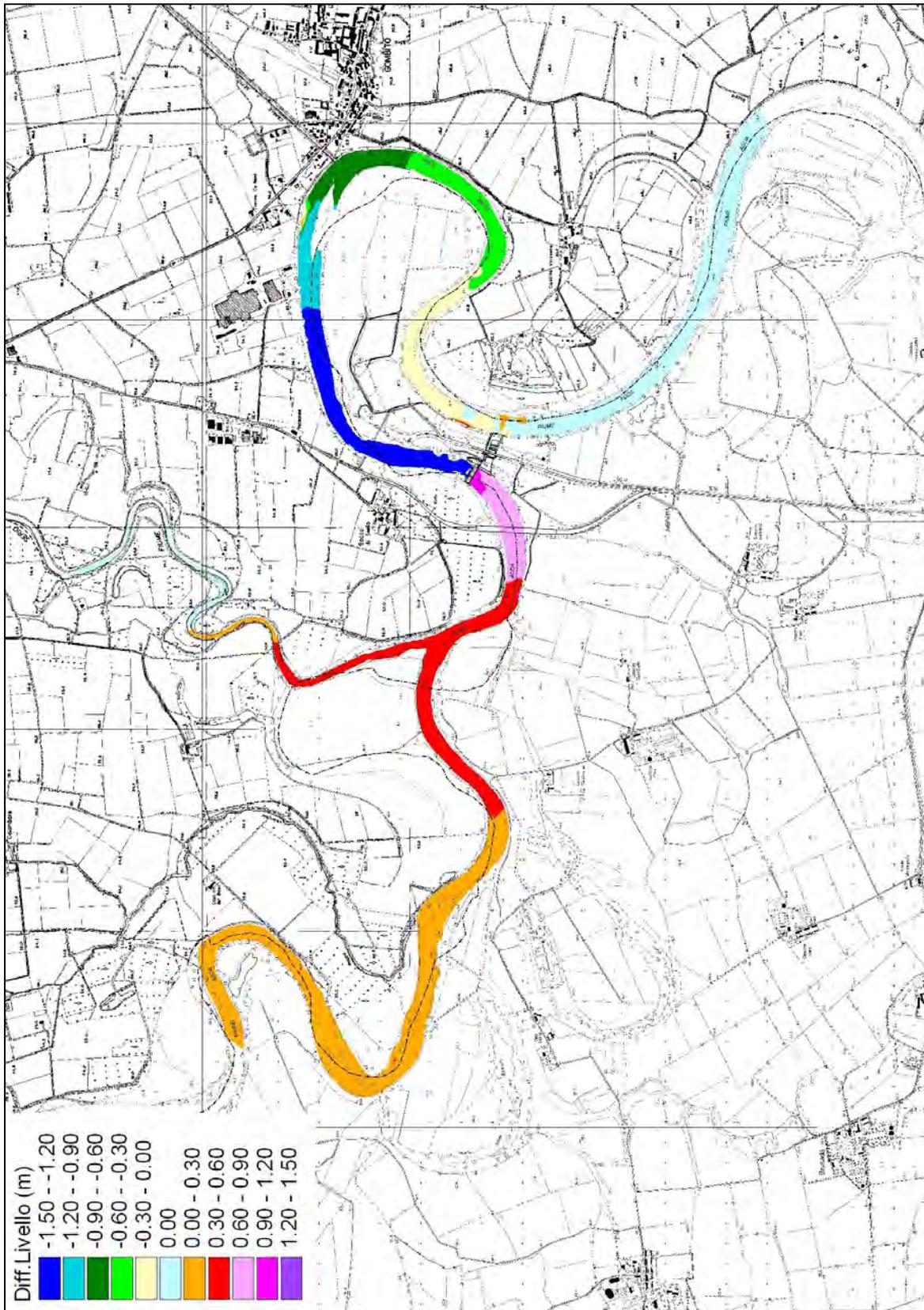


Figura 126 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto - Carta della Differenza dei Livelli rispetto allo stato attuale

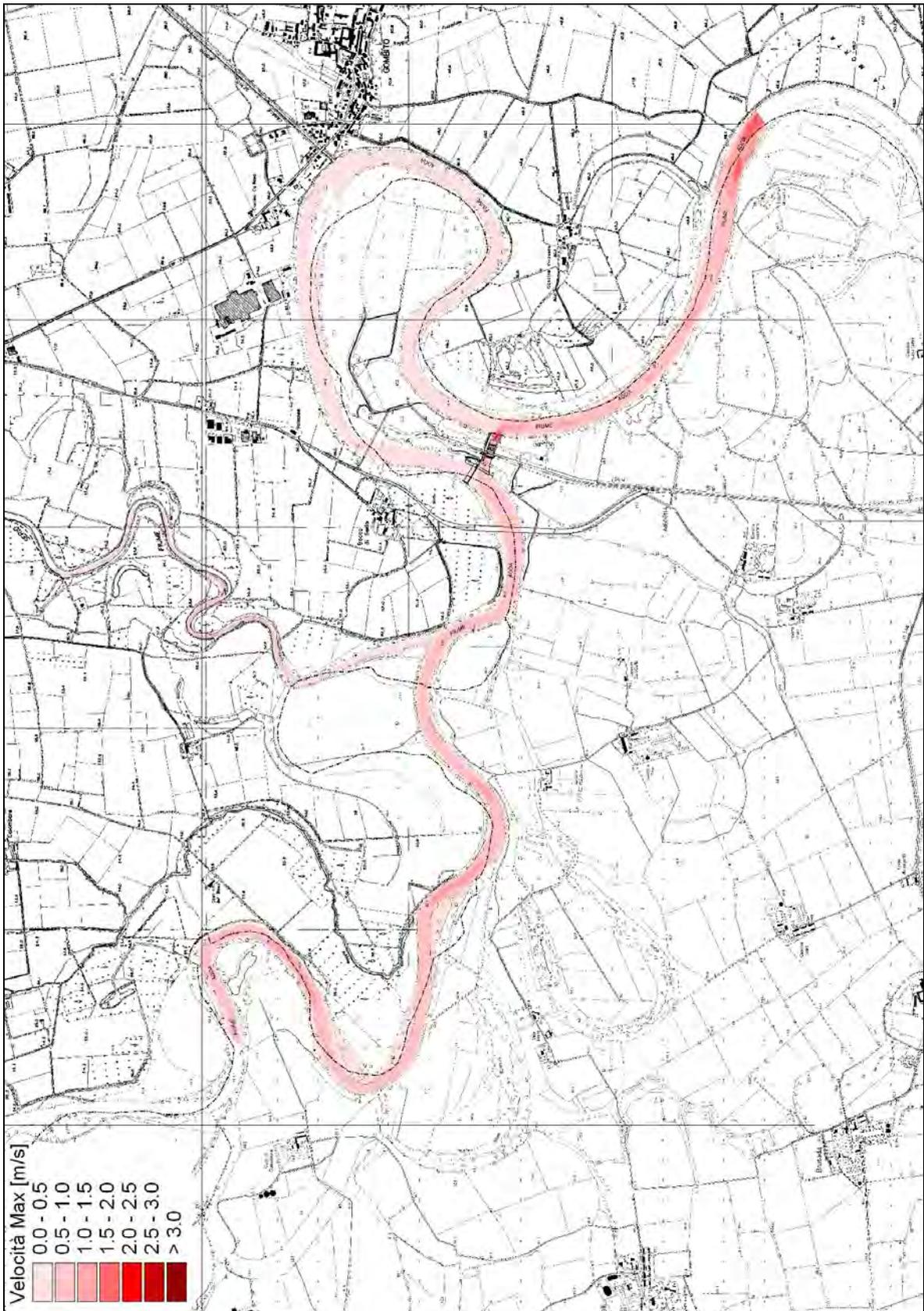


Figura 127 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto - Carta delle Velocità

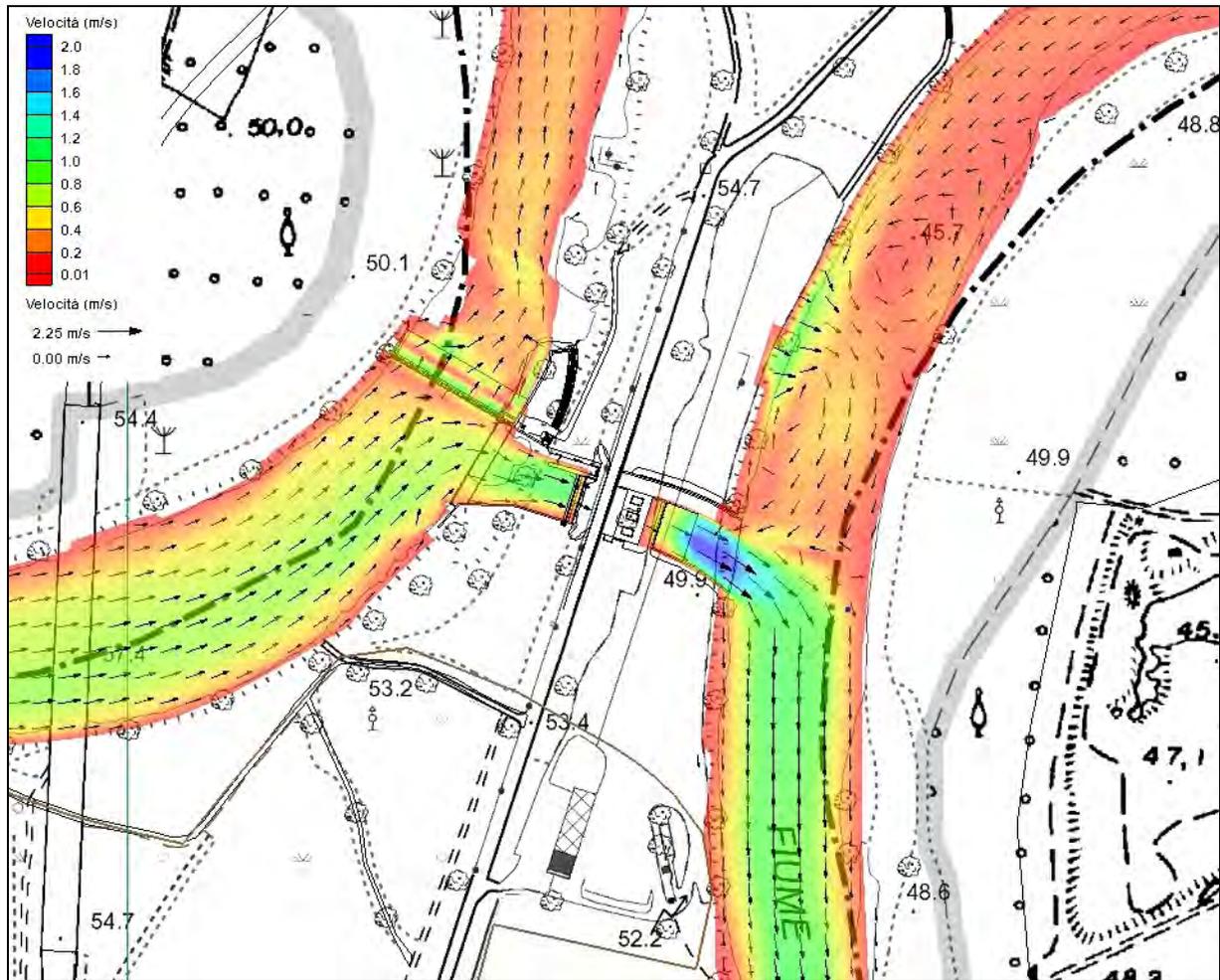


Figura 128 –  $Q_{tot}=176 \text{ m}^3/\text{s}$  – Stato di progetto - Velocità e vettori velocità (partic.opera)

### 8.6.7 Analisi morfologica del tratto

L'evoluzione in fase di piena nelle configurazioni di stato attuale e di progetto è stata analizzata anche dal punto di vista del trasporto solido.

Si è potuto, in questo modo, valutare l'evoluzione morfologica in fase di piena all'interno del tratto analizzato, prima e dopo la realizzazione dell'opera di presa in oggetto, ottenendo dati previsionali utili alla comprensione della tendenza che si viene a verificare, in particolare su alveo e sponde, in modo da poter valutare possibili effetti sulla stabilità generale del corso d'acqua, nel tratto analizzato, indotti dalla presenza dell'opera stessa.

I risultati ottenuti col presente modello numerico bidimensionale a fondo mobile hanno una valenza indicativa per la valutazione delle aree ove sono più probabili l'erosione ed il deposito di sedimento; il modello restituisce anche una indicazione sulle probabili modificazioni del fondo alveo nel tempo e quindi della variazione altimetrica del fondo durante gli eventi.

Sono state eseguite simulazioni relative agli scenari di stato attuale e di progetto per i tempi di ritorno 20, 100 e 200 anni.

Si riportano a seguire le Carte di variazione del fondo alveo nella situazione di progetto rispetto all'attuale, al termine dell'evento di piena.

In generale, nello stato di progetto, si verifica un incremento della fase deposizionale a monte traversa e della fase erosiva a valle di essa, rispetto alla situazione che si sarebbe verificata allo stato attuale.

Le variazioni in deposito a monte si attestano mediamente attorno a 1.2-1.5 m, mentre l'erosione a valle è pari a circa 1.4-1.6 m, per quanto riguarda la simulazione con tempo di ritorno 200 anni; gli spessori si riducono all'allontanarsi dall'opera.

Per tempi di ritorno inferiori, la situazione non è molto differente in termini di variazioni di altezza, di poco inferiori, ma variano le estensioni areali interessate.

I volumi di deposito immediatamente a monte traversa (i primi 300 m circa) e di maggiore potenza sono stimabili nell'ordine dei 25000 m<sup>3</sup> per eventi di piena duecentennali, 20000 m<sup>3</sup> per eventi centennali, e 10000 m<sup>3</sup> per eventi ventennali. Il deposito si estende poi verso monte con potenze più deboli per ulteriori 700 m (1 km totale da monte della traversa) per un volume di ulteriori 30-50000 m<sup>3</sup>.

Nella rimanenza del tratto analizzato, e in particolare in corrispondenza del meandro, non si verificano sostanziali modificazioni se non piccoli riassetti e tendenze al riequilibrio dell'alveo del fiume; tali modificazioni sono contenute nell'ordine dei 30 cm in incremento e decremento.

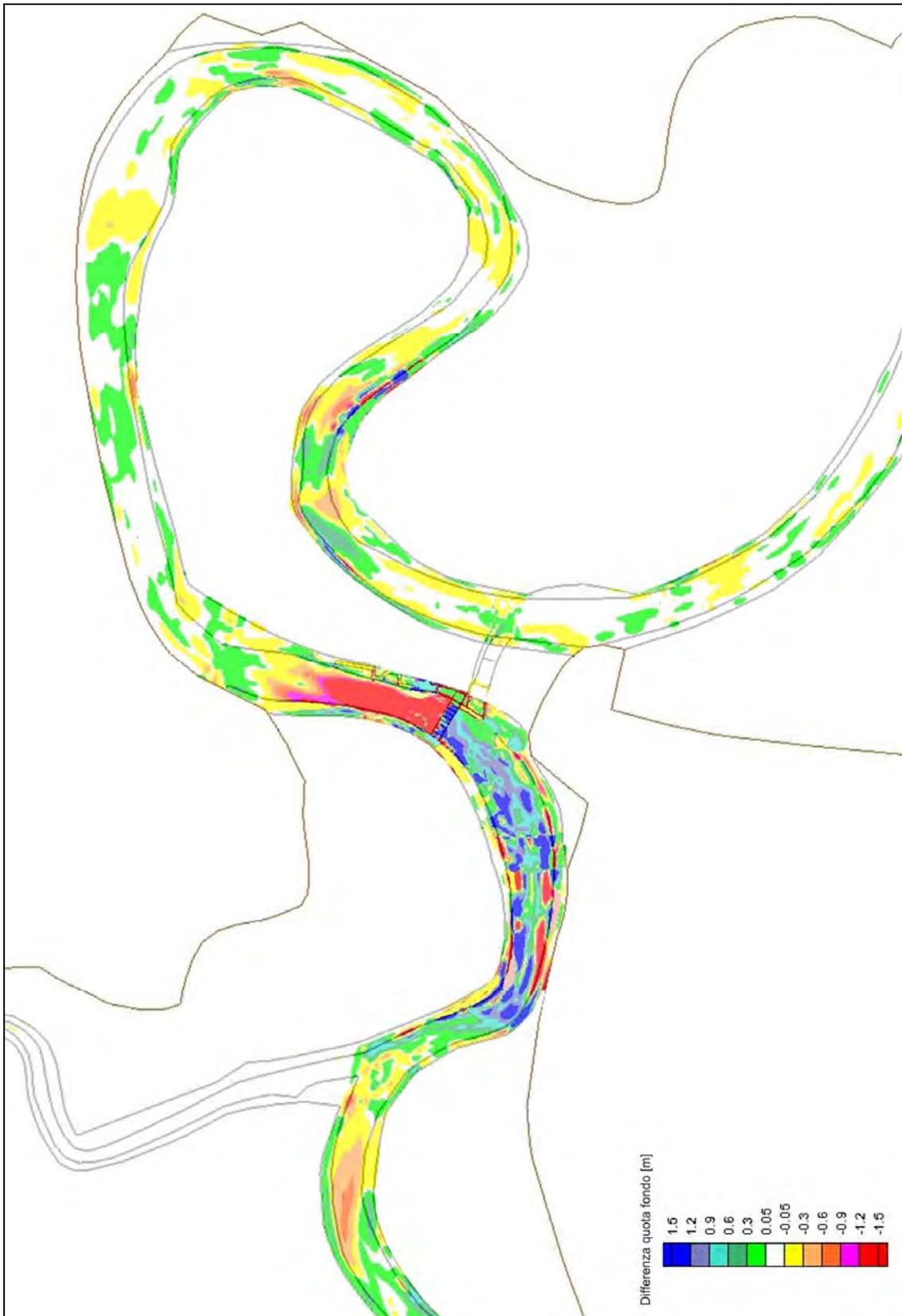


Figura 129 – Analisi morfologica evento di piena  $Tr=20$  anni. Differenza quota fondo progetto – attuale (in blu deposito, in rosso scavo)

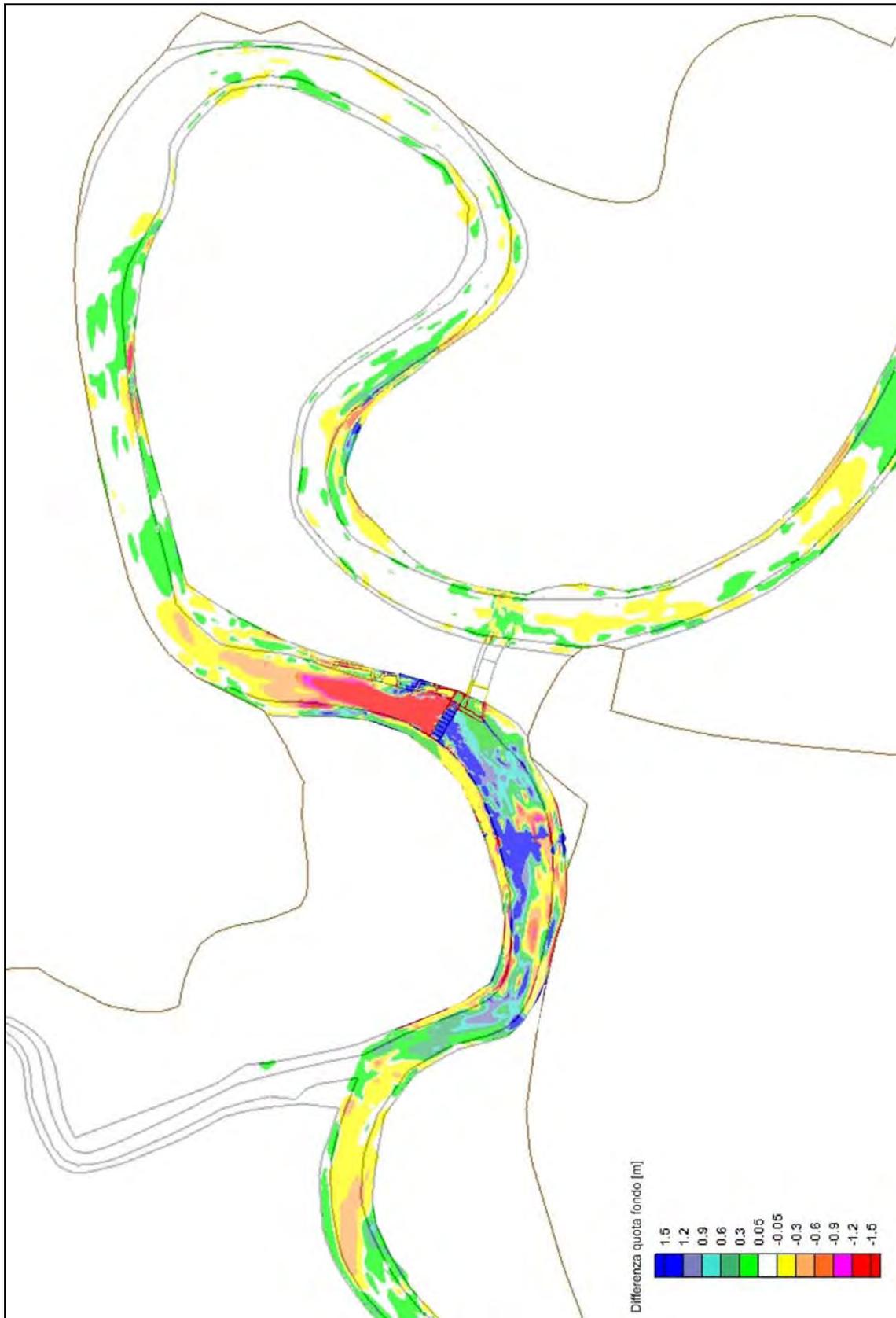


Figura 130 – Analisi morfologica evento di piena  $T_r=100$  anni. Differenza quota fondo progetto – attuale (in blu deposito, in rosso scavo)

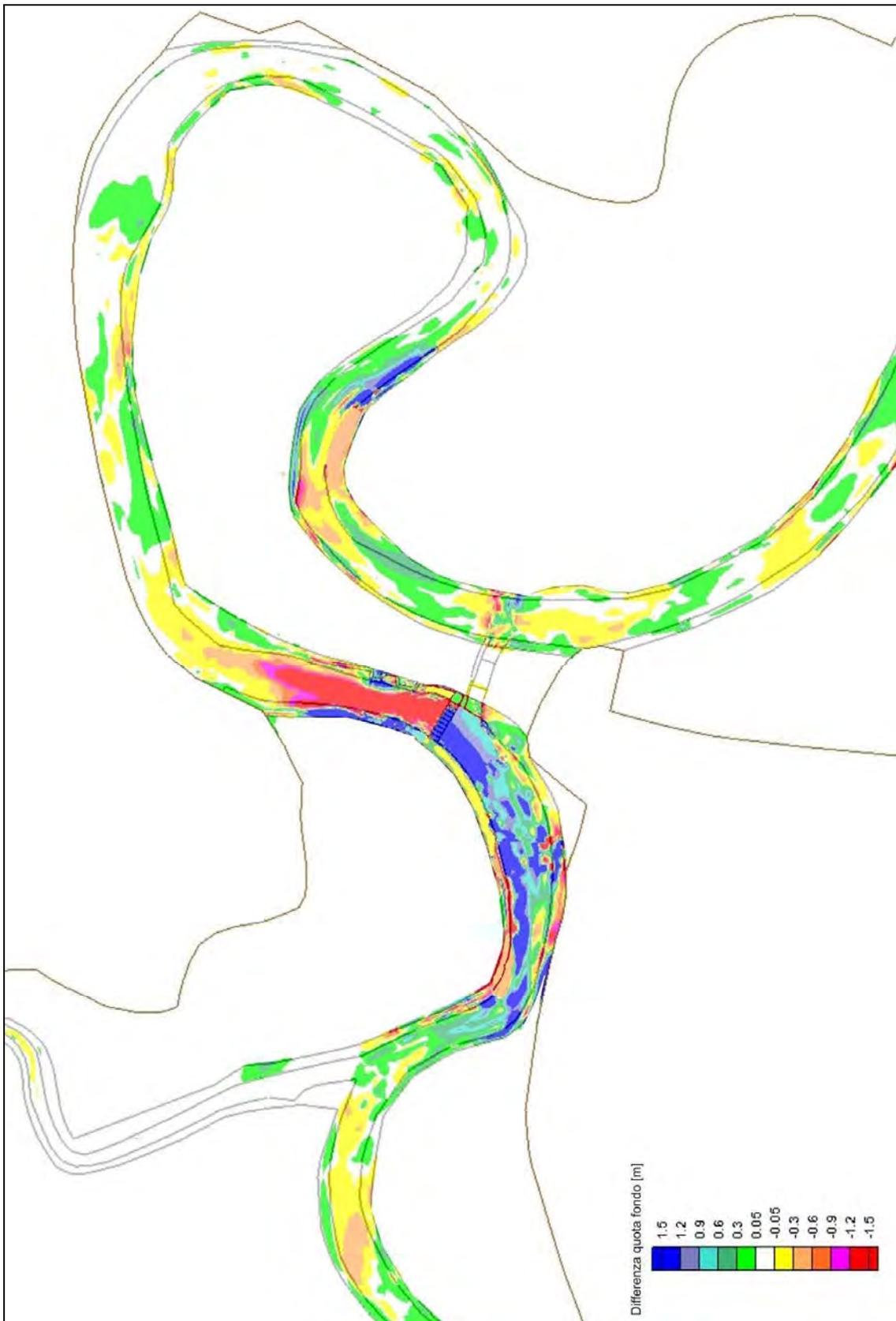


Figura 131 – Analisi morfologica evento di piena  $T_r=200$  anni. Differenza quota fondo progetto – attuale (in blu deposito, in rosso scavo)

E' stata inoltre esaminata la configurazione di esercizio dell'impianto, per la quale, in condizioni di stato attuale, è stata fatta defluire una portata di 110 m<sup>3</sup>/s a valle confluenza, dei quali 15 provenienti dal Fiume Serio e 95 dal Fiume Adda; l'analisi di tendenza è stata fatta partendo da portata zero ed incrementando la portata fino a mantenere un regime stazionario per 1.5 giorni.

La configurazione di esercizio dell'impianto, in stato di progetto, ha previsto il deflusso di una portata di 110 m<sup>3</sup>/s a valle confluenza, dei quali 15 provenienti dal Fiume Serio e 95 dal Fiume Adda; immediatamente a monte traversa, 84 m<sup>3</sup>/s vengono derivati verso il locale turbine e i rimanenti 26 m<sup>3</sup>/s circa defluiscono, a valle traversa, in alveo; le portate si commistionano nuovamente a valle del rilascio.

L'analisi di tendenza è stata fatta partendo da portata zero ed incrementando la portata fino a mantenere un regime stazionario per 1.5 giorni.

La Figura 132 mostra la differenza fra la tendenza di evoluzione morfologica del fondo alveo in stato di progetto (condizione di esercizio), rispetto all'attuale; in corrispondenza del meandro si nota una alternanza e successione di situazioni di deposito e di erosione lievi, dell'ordine di 30 cm, compatibili con le basse portate in gioco e quindi con la modesta capacità di movimentazione del materiale in una normale evoluzione morfologica di fondo alveo.

A monte traversa si verificano modesti depositi, intercalati da deboli erosioni.

Una leggera tendenza erosiva si verifica nel canale di restituzione a valle del rilascio del locale turbine, cui corrisponde un lieve deposito distribuito in alveo.

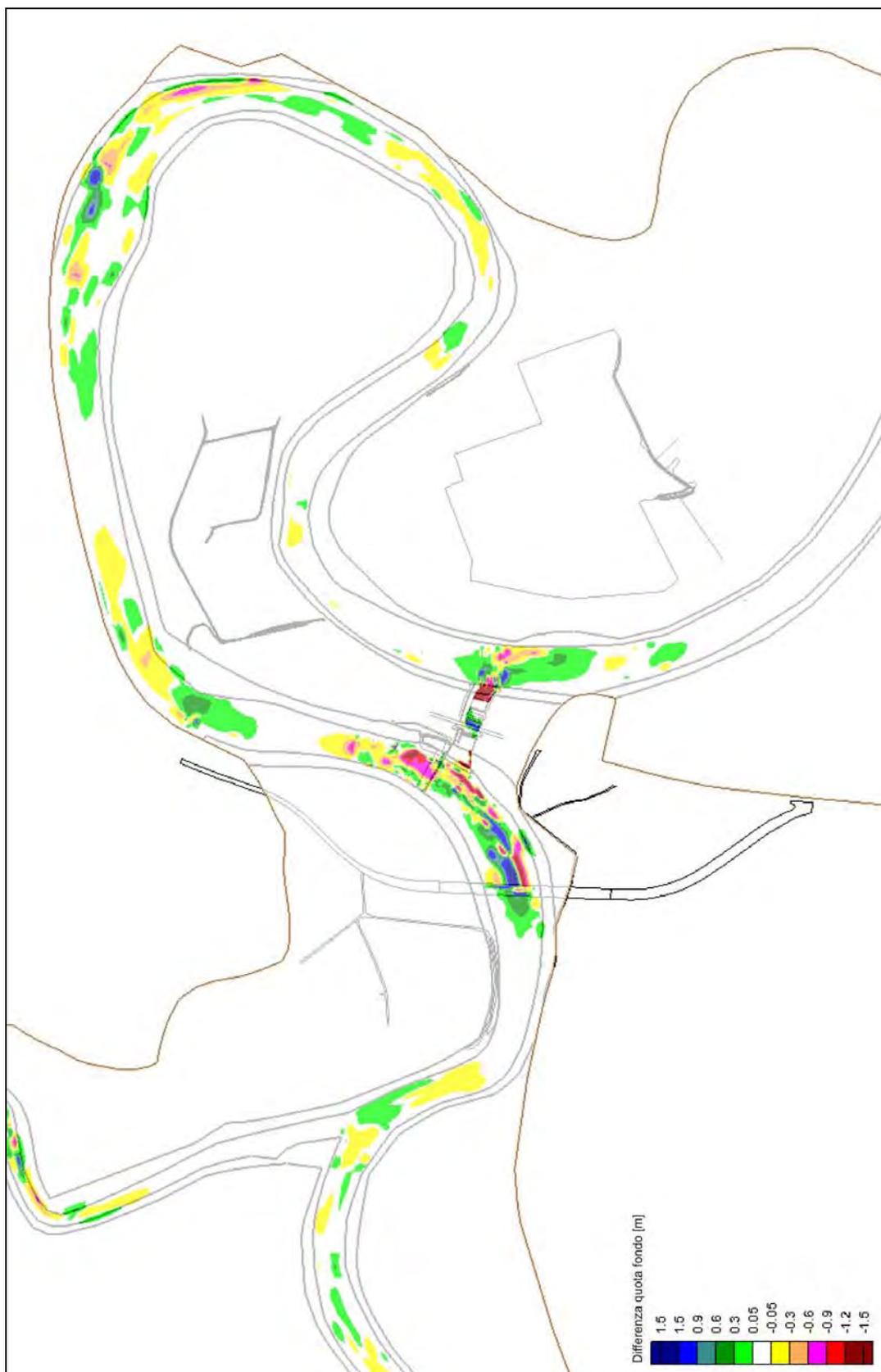


Figura 132 – Analisi morfologica portata transigente 110 m<sup>3</sup>/s. Differenza quota fondo progetto – attuale (in blu deposito, in rosso scavo)

## **9. ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA AI SENSI DELLA DIRETTIVA 4 DELLE NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI E DELL'ALLEGATO ALLA DELIBERAZIONE N°8/2010**

### **9.1 Impostazione dell'analisi**

Lo studio è stato realizzato in conformità a quanto stabilito dalla “Direttiva contenente i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B” (Direttiva 4 delle Norme di Attuazione del PAI - Deliberazione n. 2 dell'11 maggio 1999 aggiornata con deliberazione n. 10 del 5 aprile 2006) e dello specifico Allegato alla deliberazione n. 8 del 21 Dicembre 2010 “Criteri integrativi per la valutazione della compatibilità di opere trasversali e degli impianti per l'uso della risorsa idrica”.

L'obbiettivo dello studio di compatibilità idraulica è di quantificare gli effetti prodotti dall'intervento in progetto nei confronti delle condizioni idrauliche attuali del tratto di corso d'acqua interessato e di quelle di progetto dello stesso, nel caso siano diverse da quelle attuali.

Lo studio si compone dei seguenti punti, che costituiscono la caratterizzazione conoscitiva del sistema fluviale e la valutazione degli effetti ascrivibili al progetto di intervento:

- assetto geometrico dell'alveo,
- caratteristiche morfologiche dell'alveo,
- caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo,
- caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale,
- portate di piena,
- opere di difesa idraulica,
- manufatti interferenti,
- modalità di deflusso in piena,
- effetti degli interventi in progetto.

Si sintetizza, nel seguito, rispetto ai punti elencati, quanto sviluppato nell'ambito del presente lavoro.

### 9.1.1 Assetto geometrico

Le caratteristiche geometriche dell'alveo sono state indagate per mezzo di rilievi topografici e batimetrici, con sezioni trasversali a coprire l'intera fascia B, eseguiti ad hoc nel mese di maggio 2014.

L'alveo inciso presenta sezioni abbastanza regolari e stabili nel tempo, secondo quanto riportato in § 7. Le sponde hanno andamento anch'esse regolare.

Il comportamento evolutivo è assai stabile grazie anche alla presenza delle numerose difese spondali esistenti.

Nel primo tratto a valle della confluenza con il Fiume Brembo, il Fiume Adda presenta un'evoluzione d'alveo di tipo meandriforme; la granulometria è costituita da alluvioni in massima parte con ciottoli e ghiaia grossolana, che comportano condizioni di deflusso irregolari, con fenomeni di instabilità morfologica.

Verso la confluenza con il Serio, l'alveo ha una larghezza media di 80-100 m e un'altezza di sponda media di 5,5 m; le formazioni alluvionali presenti (ghiaie e sabbie medio-fine) sono alimentate dall'apporto del Brembo e dalle erosioni di sponda riscontrabili in alcuni tratti.

A valle di Gombito, l'alveo presenta una larghezza media pari a 100-120 m, con valori più ridotti all'uscita delle curve, e da una altezza media di sponda di 6-7 m. L'andamento a meandri assume curvatura accentuata; sono presenti locali tendenze all'erosione di sponda, contenute da sistemi di difesa spondale. Il materiale d'alveo è di tipo ghiaioso, con presenza di lenti di sabbia molto consistenti.

Nei tratti in curva, dal lato interno, sono presenti consistenti barre, costituite da sedimento depositato.

### 9.1.2 Caratteristiche morfologiche dell'alveo

L'andamento meandriforme attuale, seppure accentuato nel tratto interessato, ha raggiunto nel tempo una certa stabilità plano-altimetrica; tale stabilità è riscontrabile dalle Carte di rappresentazione del territorio e dalle ortofoto degli ultimi 30 anni consultabili dal Geoportale Nazionale del Ministero dell'Ambiente; fare riferimento al § 7 per ogni approfondimento in merito.

Il modello bidimensionale di trasporto solido, eseguito nell'ambito del presente studio, ha dimostrato come, in generale, le variazioni morfologiche d'alveo determinate dagli eventi di

piena siano da considerarsi compatibili con il normale assetto di un corso d'acqua come quello in questione, avente processi continui di erosione e deposito di fondo.

Il modello ha, inoltre, confermato la stabilità delle sponde nel tratto e, di conseguenza, la non tendenza dell'alveo a divagare al di fuori dell'attuale assetto.

La presenza della traversa prevista in progetto determina, localmente, una modificazione del regime dell'evoluzione del sedimento sul fondo alveo descritta dettagliatamente in § 8.6.7.

In generale, nello stato di progetto, si verifica un incremento della fase deposizionale a monte traversa e della fase erosiva a valle di essa, rispetto alla situazione che si sarebbe verificata allo stato attuale.

Le variazioni in deposito a monte traversa si attestano mediamente attorno a 1.2-1.5 m, mentre l'erosione a valle si attesta mediamente attorno a 1.4-1.6 m, per quanto riguarda la simulazione con tempo di ritorno 200 anni; le potenze di deposito ed erosione si riducono all'allontanarsi dall'opera.

Per tempi di ritorno inferiori, la situazione non è molto differente; le variazioni di altezza sono poco inferiori, ma variano le estensioni interessate.

Nella rimanenza del tratto analizzato, in particolare nel meandro di Gombito a valle della traversa, non si verificano sostanziali modificazioni del fondo se non piccoli riassetti e tendenze al riequilibrio dell'alveo del fiume; tali modificazioni sono contenute nell'ordine dei 30 cm in incremento e decremento.

### 9.1.3 Caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo

Il materiale costituente l'alveo e le sponde è stato caratterizzato utilizzando le analisi granulometriche disponibili, realizzate nell'ambito dello "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda".

Il sedimento nel tratto in oggetto risulta essere di tipo ghiaia media, fine e grossa in matrice sabbiosa e fine.

Fare riferimento al § 6 per ogni approfondimento in merito alla granulometria effettiva, riscontrata nelle campagne di misura effettuate.

Tali granulometrie sono state opportunamente assegnate al modello idrodinamico a fondo mobile come dato di input al fine di valutare l'evoluzione morfologica del fondo alveo in stato di progetto, rispetto alla situazione attuale.

#### 9.1.4 Caratteristiche ambientali e paesistiche della regione fluviale

Tali caratteristiche sono trattate in dettaglio nello Studio di Impatto Ambientale, a cui si rimanda per una analisi approfondita.

#### 9.1.5 Portate di piena

Nel paragrafo 8.4 si è trattata in modo approfondito l'idrologia di piena dei corsi d'acqua in esame. Le aste dei fiumi Adda e Serio, nel tratto a cavallo della confluenza fra i due corsi d'acqua interessati dallo studio in oggetto, sono state caratterizzate dal punto di vista idrologico da idrogrammi ricavati dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Adda nel tratto da Olginate alla confluenza in Po e del fiume Serio nel tratto da Parre alla confluenza in Adda" dell'Autorità di Bacino del fiume Po.

In particolare a valle confluenza Adda-Serio la portata di picco ventennale lungo il f. Adda è pari a 1410 m<sup>3</sup>/s, la portata centennale è 1765 m<sup>3</sup>/s, la portata duecentennale è 1950 m<sup>3</sup>/s e la portata cinquecentennale è 2165 m<sup>3</sup>/s.

Tali idrogrammi sono stati utilizzati come input del modello bidimensionale idraulico, realizzato per analizzare l'effetto dei tale piena sul territorio nei diversi scenari considerati.

Si rimanda al § 8.4.1 per ogni approfondimento in merito.

Sono stati, inoltre, analizzati scenari di magra con portata media transitante pari a 110 m<sup>3</sup>/s e 176 m<sup>3</sup>/s, finalizzati all'analisi delle condizioni di normale esercizio dell'impianto e alle valutazioni sul deflusso minimo vitale da rilasciarsi a valle opera.

Le portate in stato di progetto sono state parzializzate tra portata defluente verso l'impianto di turbinaggio e deflusso minimo vitale a valle traversa.

Le simulazioni, in questo caso, sono state effettuate in regime stazionario, mantenendo per un lungo periodo di tempo una portata in afflusso costante nei punti di *inflow* del modello; in particolare, per portata totale di 110 m<sup>3</sup>/s, si è usata una portata da Adda pari a 95 m<sup>3</sup>/s e da Serio pari a 15 m<sup>3</sup>/s, mentre per una portata totale di 176 m<sup>3</sup>/s, si è usata una portata da Adda pari a 152 m<sup>3</sup>/s e da Serio pari a 24 m<sup>3</sup>/s.

Si rimanda ai capitoli dedicati per ogni approfondimento in merito alle parzializzazioni effettuate nei diversi scenari utilizzati (§ 8.6.5 - § 8.6.6).

### 9.1.6 Opere di difesa idraulica

Il tratto in esame presenta numerose opere di difesa spondale e rilevati arginali, in grado di minimizzare le divagazioni planimetriche d'alveo.

Si faccia riferimento alla seguente figura e al capitolo 5 per la descrizione di dettaglio.

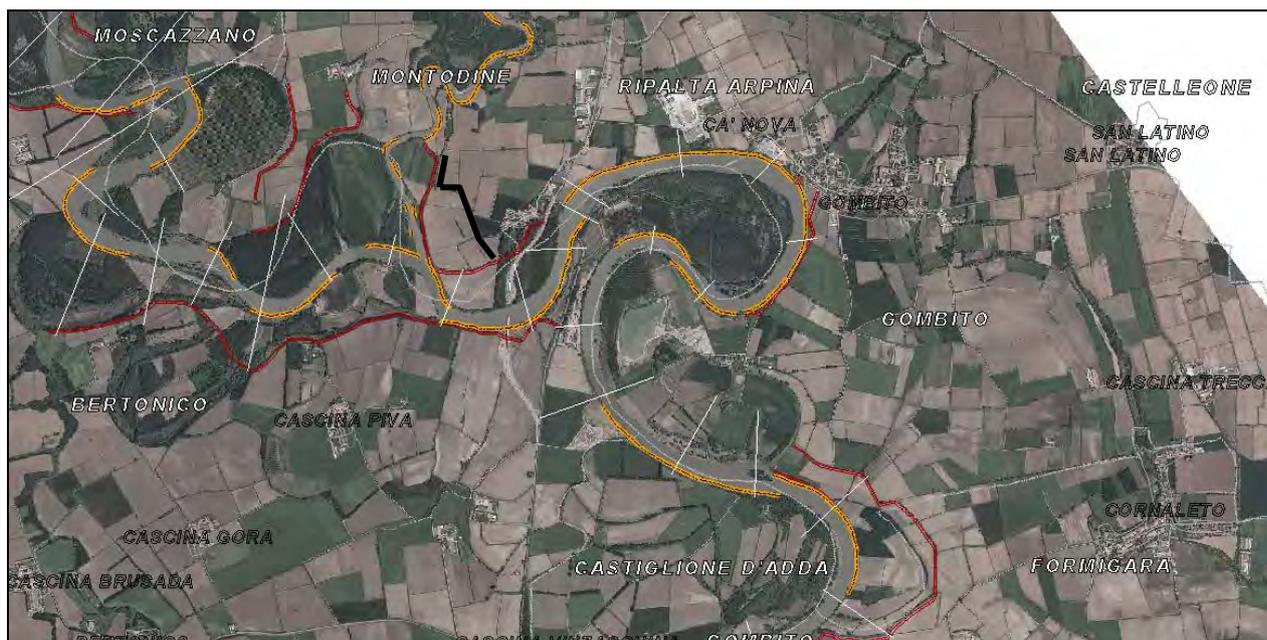


Figura 133 – Disposizione rilevati arginali (in rosso) e difese spondali (in giallo) esistenti. Planimetria d'insieme (in nero il rilevato arginale di recente realizzazione)

### 9.1.7 Manufatti interferenti

Nel tratto in oggetto non sono presenti opere trasversali interferenti con l'alveo dei fiumi (ponti, traverse, ecc.), ad esclusione del ponte strallato lungo la SS591 sul Fiume Adda a Gombito, che non presenta pile in alveo e non occupa porzioni della sezione trasversale, a meno dei rilevati stradali di estremità di accesso al ponte stesso, posti in zona golenale; tale interferenza è stata modellata nelle analisi sviluppate. A valle modello, non sono presenti opere trasversali che potrebbero interferire con il profilo di piena.

### 9.1.8 Modalità di deflusso in piena

L'analisi delle modalità di deflusso in piena nello stato attuale e nello stato finale di progetto è stata svolta utilizzando il modello numerico idraulico e morfologico bidimensionale non stazionario BASEMENT v.2.3.

Nel paragrafo 8.6, sono riportati i risultati dello studio, evidenziando gli effetti delle piene in scenario di stato attuale e di stato di progetto, al quale il presente studio è di supporto.

Sono stati studiati gli scenari di piena per tempo di ritorno 20, 100, 200 e 500 anni e gli scenari di esercizio dell'impianto con portate di deflusso medio pari a 110 e 176 m<sup>3</sup>/s.

### 9.1.9 Effetti degli interventi in progetto

Gli effetti dell'intervento di realizzazione dell'opera di derivazione idroelettrica in progetto sono stati documentati a mezzo di un'analisi approfondita dei risultati della modellazione idraulica dell'intorno considerato, valutando i campi dinamici di tirante, velocità, modificazione morfologica del fondo.

In condizioni di funzionamento delle paratoie, si verifica, per i tre tempi di ritorno analizzati  $T_r=20, 100$  e 200 anni, un incremento massimo di livello di 10 cm immediatamente a monte della traversa, per poi ridursi fino ad annullarsi ad estremità modello.

In caso di malfunzionamento del 50% delle paratoie, per evento duecentennale si verifica un incremento di livello, rispetto allo stato attuale, immediatamente a monte traversa contenuto entro circa 35 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

In caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata duecentennale, rispetto alla situazione attuale, si verifica un incremento di livello a monte traversa contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

In caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata cinquecentennale, si verifica un incremento di livello a monte traversa, rispetto allo stato attuale, contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

Per basse portate, pari a 110 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 26 m<sup>3</sup>/s (15 m<sup>3</sup>/s da Serio + 95 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 110 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 84 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 26 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato

di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 110 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 60 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

Per basse portate, pari a 110 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 35 m<sup>3</sup>/s (15 m<sup>3</sup>/s da Serio + 95 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 110 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 75 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 35 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 90 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 50 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

Per basse portate, pari a 176 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 26 m<sup>3</sup>/s (24 m<sup>3</sup>/s da Serio + 152 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 176 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 150 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 26 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno a 150 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 80 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

In corrispondenza della restituzione in f. Adda, la velocità sulla sponda sinistra risulta assai modesta, inferiore a 0.50 m/s, sebbene all'interno del canale di restituzione si raggiungano invece velocità dell'ordine di 2 m/s; l'impulso iniziale viene smorzato immediatamente in alveo principale, per l'effetto dell'incontro con la portata defluente in esso.

Dal punto di vista dell'evoluzione morfologica del fondo alveo, in generale, nello stato di progetto, si verifica un incremento della fase deposizionale a monte traversa e della fase erosiva a valle di essa, rispetto alla situazione che si sarebbe verificata allo stato attuale.

Le variazioni in deposito a monte si attestano mediamente attorno a 1.2-1.5 m, mentre l'erosione a valle si attesta mediamente attorno a 1.4-1.6 m, per quanto riguarda la simulazione con tempo di ritorno 200 anni; gli spessori si riducono all'allontanarsi dall'opera. Per tempi di ritorno inferiori, la situazione non è molto differente; le variazioni di altezza sono poco inferiori, ma variano le estensioni interessate.

Nella rimanenza del tratto analizzato, e in particolare nel meandro di Gombito, non si verificano sostanziali modificazioni se non piccoli riassetti e tendenze al riequilibrio dell'alveo del fiume; tali modificazioni, in termini di successioni di depositi ed erosioni, sono contenute nell'ordine dei 30 cm in incremento e decremento.

Per basse portate (portata media  $110 \text{ m}^3/\text{s}$ ), non si verificano particolari depositi a monte traversa; una leggera tendenza erosiva si verifica nel canale di restituzione a valle del rilascio del locale turbine, cui corrisponde un lieve deposito distribuito in alveo.

## **9.2 Compatibilità ai sensi della Direttiva 4 PAI (Deliberazione 2/99 AdBPo) e dell'Allegato 8 alla Deliberazione 8/2010 AdBPo**

In applicazione della normativa la compatibilità idraulica viene analizzata in riferimento ai temi trattati nel seguito.

### **9.2.1 Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena (punto E.1)**

La traversa mobile presente in alveo, necessaria per l'innalzamento del livello a monte della presa laterale verso la centrale idroelettrica, costituisce elemento interferente al libero deflusso delle acque del f. Adda.

Per minimizzare l'effetto determinato dalla traversa sull'idrodinamica del Fiume Adda nel tratto interessato, il progetto prevede in testa alla traversa fissa la presenza di una serie di paratoie a ventola mobili che possono abbattersi completamente o essere innalzate in funzione delle condizioni di deflusso di portata.

In particolare, durante le fasi di piena, si prevede:

- l'abbassamento completo delle paratoie a ventola al fine di massimizzare la sezione di deflusso;
- la chiusura della presa della centrale.

Al fine di esaminare gli effetti della presenza dell'opera sulla piena straordinaria di riferimento, con tempo di ritorno 200 anni, sono state eseguite simulazioni bidimensionali in stato attuale e di progetto.

Si è, in prima battuta, considerato che l'opera sia completamente funzionante, pertanto, si prevede che tutte le 9 paratoie a ventola siano abbattute durante la piena.

Dal confronto fra i livelli che si verificano in stato attuale ed nello scenario di progetto con l'opera realizzata, in condizioni di funzionamento delle paratoie, si verifica, per i tre tempi di ritorno analizzati  $T_r=20$ , 100 e 200 anni, un incremento massimo di livello di 10 cm immediatamente a monte della traversa, per poi ridursi fino ad annullarsi ad estremità modello.

Si faccia riferimento al §8.6.2 per ogni approfondimento in merito e per visualizzare le Carte relative agli scenari analizzati.

Al fine di valutare gli effetti dei possibili malfunzionamenti delle paratoie costituenti lo sbarramento mobile, si sono realizzate inoltre una simulazione di stato di progetto con il 50% delle paratoie a ventola alzate, presenti al di sopra della traversa, ed una simulazione con tutte le paratoie alzate (non funzionamento al 100%); la piena di riferimento è sempre la duecentennale.

Si riscontra che in caso di malfunzionamento del 50% delle paratoie, per portata duecentennale, rispetto allo stato attuale, si verifica un incremento di livello immediatamente a monte traversa contenuto entro circa 35 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

In caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata duecentennale, si verifica un incremento di livello a monte traversa, rispetto allo stato attuale, contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

Si faccia riferimento al § 8.6.3 per ogni approfondimento in merito e per visualizzare le Carte relative agli scenari analizzati.

L'incremento dei livelli che si verifica con l'opera presente, anche in caso di malfunzionamento della stessa, non determina una variazione della delimitazione della fascia B.

Al fine di valutare l'effetto delle piene catastrofiche, con tempo di ritorno 500 anni, sul territorio, si è effettuata una simulazione di stato attuale e di stato di progetto, nell'ipotesi di completo malfunzionamento delle paratoie, al fine di valutare le conseguenze in termini di incremento di livello sul territorio, utilizzando le portate di piena relative a tale evento.

In caso di malfunzionamento del 100% delle paratoie, per portata cinquecentennale, si verifica un incremento di livello a monte traversa, rispetto allo stato attuale, contenuto entro 60 cm massimi; tale differenza va a ridursi man mano si procede verso monte traversa.

Si faccia riferimento al § 8.6.4 per ogni approfondimento in merito e per visualizzare le Carte relative agli scenari analizzati.

Per basse portate, pari a 110 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 26 m<sup>3</sup>/s (15 m<sup>3</sup>/s da Serio + 95 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 110 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 84 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 26 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 110 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato

attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 60 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

Per basse portate, pari a 110 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 35 m<sup>3</sup>/s (15 m<sup>3</sup>/s da Serio + 95 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 110 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 75 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 35 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno ai 90 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 50 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

Per basse portate, pari a 176 m<sup>3</sup>/s totali defluenti, considerando un deflusso minimo vitale a valle traversa pari a 26 m<sup>3</sup>/s (24 m<sup>3</sup>/s da Serio + 152 m<sup>3</sup>/s da Adda a monte confluenza - 176 m<sup>3</sup>/s a monte traversa che si separano in 150 m<sup>3</sup>/s derivati verso le turbine e 26 m<sup>3</sup>/s rilasciati a valle traversa come deflusso minimo vitale), la differenza dei livelli tra stato attuale e stato di progetto evidenzia una riduzione dei livelli attorno a 150 cm immediatamente a valle traversa; tale riduzione si minimizza andando verso a valle, riproducendo i livelli di stato attuale a valle della restituzione. In particolare, dall'abitato di Gombito fino alla restituzione della centrale idroelettrica, la riduzione di livelli varia tra 80 e 0 cm. I rigurgiti prodotti a monte della traversa lungo i f. Adda e Serio si annullano a estremo modello.

In corrispondenza della restituzione in f. Adda, la velocità sulla sponda sinistra risulta assai modesta, inferiore a 0.50 m/s, sebbene all'interno del canale di restituzione si raggiunga invece una velocità dell'ordine di 2 m/s; l'impulso iniziale viene smorzato immediatamente in alveo principale, per l'effetto dell'incontro con la portata defluente in esso.

### 9.2.2 Riduzione della capacità di invaso dell'alveo (punto E.2)

L'intervento in progetto non determina una riduzione delle superfici allagabili e, di conseguenza, delle capacità di laminazione dell'alveo e delle golene, nel tratto di asta fluviale analizzato.

### 9.2.3 Interazioni con le opere di difesa idrauliche (opere di sponda e argini) esistenti (punto E.3)

Le alterazioni delle condizioni di deflusso in relazione ai diversi regimi di portata non pregiudicano le condizioni di stabilità, resistenza e funzionalità delle opere di difesa presenti. Gli incrementi di livello idrico prodotti dall'opera in condizioni di funzionamento dei dispositivi di abbattimento delle paratoie risultano particolarmente contenuti e i tratti in erosione dello stato di progetto (valle traversa e sbocco canale di restituzione) saranno protetti con massi sciolti sul fondo a costituire una difesa del fondo flessibile.

La variazione di velocità tra stato attuale e stato di progetto è assolutamente trascurabile, pertanto non incide in alcun modo sulla stabilità delle opere esistenti.

### 9.2.4 Opere idrauliche in progetto nell'ambito dell'intervento (punto E.4)

Al fine di contenere le erosioni a valle della traversa e allo scarico del canale di restituzione, sono previste protezioni del fondo in massi, di tipo flessibile, in grado di limitare l'azione erosiva della corrente.

### 9.2.5 Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo inciso e di piena (punto E.5)

Al fine di valutare la soluzione progettuale in rapporto all'assetto morfologico attuale dell'alveo e alla sua probabile evoluzione, si è realizzato un modello bidimensionale a fondo mobile che analizza la tendenza di variazione del fondo alveo, in relazione al trasporto solido di fondo che si instaura durante le piene.

L'analisi è stata effettuata sia nello scenario di stato attuale, che in quello di progetto, al fine di evidenziare le eventuali differenze fra le due situazioni.

I risultati del modello sono riportati, nel loro complesso, in § 8.6.7.

In generale, nello stato di progetto, si verifica un incremento della fase deposizionale a monte traversa e della fase erosiva a valle di essa, rispetto alla situazione che si sarebbe verificata allo stato attuale.

Le variazioni in deposito a monte si attestano mediamente attorno a 1.2-1.5 m, mentre l'erosione a valle è dell'ordine di 1.4-1.6 m (Tr200 anni); le potenze dei depositi e degli scavi si riducono all'allontanarsi dall'opera.

Per tempi di ritorno inferiori, la situazione risulta simile: le potenze in gioco sono di poco inferiori, ma variano le estensioni areali interessate.

Per basse portate (portata media 110 m<sup>3</sup>/s), non si verificano particolari depositi a monte traversa; una leggera tendenza erosiva si verifica nel canale di restituzione a valle del rilascio del locale turbine, a cui corrisponde un lieve deposito, distribuito in alveo.

Durante le piene, le paratoie a ventola al di sopra della traversa sono abbassate, pertanto il trattenimento di sedimento a monte risulta minimo.

Al fine di garantire il trasferimento del materiale accumulato a monte traversa verso valle, è previsto, inoltre, un canale laterale, con finalità prioritaria di scarico di fondo, localizzato alla quota minima del fondo alveo (43.5 m s.m.m.), in grado di raccogliere i sedimenti e scaricarli, periodicamente, attraverso l'apertura di una paratoia a settore posizionata sul fondo di esso, in corrispondenza della linea di paratoie della traversa.

L'eccesso di sedimento accumulato a monte traversa, eventualmente non movimentabile attraverso il canale di fondo, sarà trasferito da monte a valle con operazioni meccaniche, a seguito dell'evento di piena.

## 9.2.6 Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale (punto E.6)

### 9.2.6.1 *Ambiente idrico*

Le principali alterazioni indotte dalla realizzazione dell'opera sulla componente in esame sono riconducibili a:

- modifiche della morfologia dell'alveo;
- modifiche delle dinamiche idrauliche del Fiume;
- modifiche delle caratteristiche chimiche, fisiche e biologiche delle acque.

La costruzione ex novo di una traversa, che si estende nel senso trasversale al Fiume, la realizzazione di nuovi tratti di difesa spondale in alveo e la realizzazione dei canali di adduzione e restituzione costituiscono le più evidenti modifiche dell'attuale morfologia dell'alveo.

Considerata la tipologia dell'intervento, è possibile classificare gli impatti negativi dell'opera in progetto sulla morfologia dell'alveo come **permanenti** e di **entità media**.

Va inoltre segnalato che la realizzazione di tratti di difese spondali determinerà un miglioramento dell'assetto idraulico del Fiume e, dunque, una riduzione del rischio di erosione spondale, originando, quindi, un impatto **positivo**, ancorché di **lieve entità**, in considerazione del limitato sviluppo lineare delle opere.

In merito alle dinamiche idrauliche in corrispondenza del punto in cui è prevista la costruzione della traversa, il flusso della corrente del Fiume Adda non subirà modifiche particolari, infatti, attualmente è principalmente spostato a destra per la presenza della curva verso sinistra ed in seguito alla realizzazione dello sbarramento si manterrà tale poiché sia il passaggio artificiale per l'ittiofauna sia la derivazione idroelettrica sono concentrate sulla sponda destra orografica.

Anche il naturale deflusso delle piene sia di carattere ordinario sia straordinario non subirà cambiamenti apprezzabili, infatti, l'abbattimento del sistema di sbarramento mobile permette di ripristinare quasi completamente la sezione idraulica attuale.

Le opere in progetto non alterano l'assetto planaltimetrico dell'area e pertanto l'impatto in tal senso può definirsi **nullo**. Le opere edili contenenti i componenti tecnologici necessari alla produzione di energia saranno completamente interrati. La centrale elettrica verrà realizzata ad una quota non interessata da fenomeni legati alla dinamica del corso d'acqua anche in caso di eventi alluvionali ed il volume occupato dall'edificio non è in grado di modificare in modo sensibile il deflusso di piena del fiume.

A quanto visto va aggiunto che la realizzazione della traversa induce necessariamente una variazione del trasporto solido della corrente, con deposizione di sabbia a ciottoli presso il bacino che si viene a formare a monte della medesima. Questa interferenza, tuttavia, risulta essere limitata al bacino suddetto ed a portate medio-basse del Fiume, poiché in caso di piena, anche ordinaria, l'abbattimento dello sbarramento mobile consente il deflusso sia della componente liquida sia di quella solida della corrente.

Sotto il profilo chimico, non si attendono variazioni dello stato qualitativo attuale delle acque, in quanto l'impianto non produce e non scarica acque reflue. In tal caso, dunque, l'impatto relativo alla immissione di inquinanti nel corso d'acqua risulta essere **nullo**. Lungo il tratto

sotteso, inoltre, non sono presenti altri scarichi degni di nota, pertanto risulta pressoché **nullo** anche il rischio di un aumento degli inquinanti disciolti nelle acque dell'alveo in seguito alla diminuzione dei volumi delle stesse. L'immissione delle acque del Serio, che, come accennato sono caratterizzate da una qualità peggiore rispetto a quelle dell'Adda, avviene a monte della traversa; non si rilevano pertanto peggioramenti riconducibili alla sottrazione di acqua derivante dall'attivazione dell'impianto.

Relativamente all'aspetto biologico, invece, la modifica delle dinamiche idrauliche e soprattutto la **riduzione delle portate** in alveo comporteranno una contrazione dell'estensione delle aree colonizzabili dalle diverse specie e, conseguentemente, una modifica delle dinamiche e della composizione dei popolamenti vegetali ed animali dell'ambiente acquatico. Nel caso in esame, tale interferenza risulta essere di **entità media** (seppur l'estensione del tratto sotteso risulti considerevole, la qualità della risorsa non risulta particolarmente apprezzabile) ed in quanto a durata, **permanente** (perché legata alla vita utile della centrale ed al funzionamento).

La realizzazione delle opere in alveo, in fase di costruzione dell'opera, potrà dare luogo ad incrementi della torbidità delle acque, per sollevamento dei materiali fini di fondo alveo ed immissione di terra nelle acque del Fiume, con conseguente scadimento delle qualità fisiche delle medesime. L'intorbidamento delle acque, inoltre, potrebbe avere conseguenze negative anche a carico delle popolazioni di macro invertebrati, ostacolandone le normali funzioni biologiche. Tali impatti, ancorché di **entità media**, risulteranno, tuttavia, **temporanei**; la conclusione dei lavori di realizzazione dell'opera ed il successivo ripristino di condizioni ecologiche idonee alla sopravvivenza delle specie più esigenti consentiranno, infatti, un veloce ritorno allo stato attuale. Anche per questo aspetto, occorre ricordare come, allo stato attuale, le immissioni del canale Serio Morto (nei pressi dell'imbarcadero di Gombito) e del colatore Muzza (nei pressi di cascina Vinzaschina nel comune di Castiglione d'Adda), determinano un peggioramento dei valori di torbidità del Fiume ed uno scadimento qualitativo dello stesso.

Ulteriori criticità possono essere rappresentate dagli interventi di manutenzione alle opere di presa: l'apertura dello scarico di fondo determinerà un repentino aumento del trasporto solido e della torbidità dell'acqua, ed un incremento localizzato delle portate. Le popolazioni di macroinvertebrati potranno andare incontro a trascinarsi a valle e/o sommersione.

Anche in tal caso vale quanto sopra riportato in merito al disturbo indotto, impatto **sensibile** ma **temporaneo**, tenendo conto che la durata di tali interventi sarà brevissima.

#### 9.2.6.2 Atmosfera

Considerate la puntualità dell'intervento, ovvero la ridotta estensione dell'area interessata dal progetto, nonché la tipologia del medesimo, ovvero un impianto che produce energia da fonti rinnovabili con emissioni contenute durante la realizzazione dell'opera e del tutto assenti ad impianto avviato, è possibile affermare che la realizzazione dell'impianto in questione **non avrà ricadute degne di nota** sugli aspetti climatici, né in fase di costruzione né in fase di esercizio.

Per quanto concerne la qualità dell'aria, invece, la realizzazione dell'impianto comporterà, senz'altro, un leggero incremento della polverosità e della concentrazione di gas di scarico nell'atmosfera, conseguentemente alle operazioni di scavo, alla movimentazione delle macchine operatrici e dei mezzi di cantiere e di trasporto. Tale interferenza può considerarsi, tuttavia, **poco significativa e temporanea**, sia per la ridotta estensione delle superfici interessate sia per l'intervallo temporale caratterizzato da dette emissioni.

In fase di esercizio, invece, data la tipologia dell'impianto in progetto, che non ha emissioni in atmosfera, è possibile prevedere che **non intervenga alcuna variazione** della qualità dell'aria rispetto allo stato attuale.

Con riferimento a quanto esposto in merito alla qualità dell'aria del territorio in esame, si può altresì considerare come **ricaduta positiva** della realizzazione dell'impianto, la mancata emissione di gas inquinanti SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, polveri e CO<sub>2</sub> che deriverebbe da una produzione equivalente di energia ma ottenuta con fonti tradizionali.

#### 9.2.6.3 Suolo e sottosuolo

Gli impatti riferibili alla componente suolo derivabili dalla realizzazione dell'opera in progetto sono riconducibili a diverse azioni:

- occupazione e variazione della destinazione d'uso del suolo;

- effettuazione di scavi per la realizzazione della traversa, del canale di adduzione, della centrale e del canale di scarico;
- movimentazione dei mezzi d'opera e stoccaggio dei materiali;
- realizzazione di aree di stoccaggio temporaneo del materiale scavato.

Le principali conseguenze negative dovute alle azioni sopra specificate sono la sottrazione di superficie coperta da vegetazione e conseguente modificazione di destinazione d'uso del suolo (per la realizzazione dell'opera di presa, del canale di adduzione, della centrale e del canale di restituzione), l'asportazione di suolo e sottosuolo dovuta alle operazioni di scavo necessarie alla realizzazione delle opere in progetto, il compattamento del suolo (per le operazioni di cantiere che comprendono la movimentazione dei mezzi e l'approvvigionamento di materiale da costruzione).

La modificazione d'uso del suolo e l'asportazione di suolo e sottosuolo, sono considerabili come impatti **permanenti**, in quanto, per le caratteristiche costruttive dell'impianto, le aree che subiranno modificazione rimarranno in gran parte fuori terra (canale di adduzione e canale di scarico).

Per quanto riguarda il compattamento del suolo, tali impatti possono essere considerati **temporanei**, in quanto esclusivamente limitati alla durata del cantiere, e **reversibili**, in quanto tali effetti potranno essere eliminati al termine dei lavori attraverso operazioni di ripristino dello stato attuale e recupero ambientale.

Nello specifico, per quanto concerne la realizzazione dell'opera di presa e del canale di adduzione, della centrale, del canale di restituzione nonché della conca di navigazione, verranno interessate limitate superfici interessate da vegetazione arborea, un'area a seminativo, una porzione dell'area attualmente destinata a deposito di inerti ed un breve tratto del vecchio sedime stradale.

La presenza di un'ansa particolarmente pronunciata e chiusa come quella in esame permette, infatti, di realizzare un impianto molto compatto con un taglio di meandro di appena 200 m.

Con riferimento alla Tav. 5 – Carta dell'uso del suolo, allegata nell'elaborato S2, le categorie di “uso del suolo” interessate dalle suddette opere sono costituite in prevalenza da aree boscate per circa 100 m (considerando sia la vegetazione presente lungo le sponde sia le

fasce presenti lungo il sedime stradale), da aree a seminativo per circa 35 m, strada per circa 10 m ed area di deposito inerti per circa 53 metri.

I volumi di scavo previsti nell'area di intervento sono pari a circa 5 265 m<sup>3</sup> per lo sbarramento, 67 300 m<sup>3</sup> per la centrale idroelettrica ed i canali di adduzione e scarico e 1 500 m<sup>3</sup> per la viabilità e le opere compensative.

Data la natura delle opere in progetto, non sarà possibile realizzare un bilanciamento di scavi e riporti all'interno del sito di intervento; il materiale di risulta sarà depositato presso aree private o messo a disposizione del demanio per il successivo riutilizzo in eventuali opere di regimazione demaniale o alienate dallo stesso demanio.

Un ulteriore contributo al disturbo in esame proverrà dai mezzi e dalle macchine necessarie all'esecuzione dei lavori; il loro transito, infatti, comporterà un compattamento del suolo presso le aree di intervento con conseguente alterazione delle caratteristiche fisico-chimiche del medesimo (riduzione della circolazione idrica e aerea profonda con conseguente inibizione dell'attività della microfauna tellurica e peggioramento della fertilità dei suoli).

Sempre con riferimento ai mezzi ed ai macchinari impiegati per la realizzazione del progetto va considerato anche il rischio di inquinamento del suolo da idrocarburi, a seguito di sversamenti accidentali, conseguenti a ribaltamenti o incidenti che coinvolgono detti macchinari e mezzi. In ogni caso, considerando la probabilità di detti eventi, le modalità di realizzazione dell'opera e le unità operative impiegate, detto rischio risulta essere **molto basso** e relativo alla sola fase di realizzazione dell'impianto, ossia **temporaneo**.

In generale, considerata la tipologia dell'opera, l'estensione dell'area interessata dall'intervento e le caratteristiche della componente in esame, l'impatto arrecato dalla realizzazione dell'opera sulla morfologia superficiale e profonda del suolo nonché sulla morfologia dell'alveo indotta dalla realizzazione della traversa, della centrale e dei canali di adduzione e restituzione, può considerarsi di **entità media e permanente**.

#### *9.2.6.4 Flora e fauna*

A livello generale, è possibile prevedere che le interferenze negative derivanti dalla realizzazione dell'opera in oggetto che possano interessare la vegetazione sono riconducibili a:

- taglio della vegetazione presente nelle aree interessate dalla realizzazione del canale di adduzione e del canale di scarico;
- disturbo della vegetazione presente nell'intorno dell'area interessata dal cantiere;
- interferenza con la vegetazione spondale dovuta alla riduzione delle portate lungo il tratto sotteso.

I maggiori impatti sulla vegetazione si verificheranno sulla sponda destra del F. Adda (in particolare, nella zona dove si intende realizzare il canale di carico) e sulla sponda sinistra dello stesso (nei pressi del punto di restituzione delle acque in alveo). In queste aree sono presenti formazioni discontinue di vegetazione caratterizzate da specie quali acero negundo (o americano, *Acer negundo*), acero campestre (*Acer campestre*), robinia (*Robinia pseudoacacia*), sambuco (*Sambucus nigra*), salice bianco (*Salix alba*), olmo (*Ulmus minor*), platano (*Platanus sp.*), pioppo bianco (*Populus alba*) e differenti pioppi ibridi.

La puntuale quantificazione degli impatti di cui sopra è riportata nello Studio di Impatto Ambientale allegato al presente progetto.

Nell'area di intervento si prevede di abbattere un numero di esemplari pari a 166. La maggior parte di essi è concentrato nella classi di diametro inferiori e, precisamente, in quella da 10-20 cm (84 esemplari da abbattere, che corrispondono a circa il 51% del totale), in quella da 21 a 30 cm (con circa il 19% di esemplari da abbattere) e in quella da 31-40 cm (35 esemplari da abbattere, che corrispondono a circa il 21% del totale); nelle classi diametriche superiori, invece, si prevede di asportare un numero di esemplari di molto inferiore, pari a 16 complessivamente per le classi diametriche da 40 a 90 cm (circa il 10% del totale). Per quanto riguarda le specie abbattute, si prevede che siano asportati prevalentemente esemplari di robinia e, in misura minore di acero negundo, platano e salice bianco.

Le classi diametriche maggiormente rappresentate sono quelle che vanno da 10 a 40 cm (con una percentuale di esemplari arborei di quasi il 90%), mentre le classi diametriche più alte (> 40 cm) sono scarsamente rappresentate, con una percentuale di esemplari di 10% circa.

Al fine di valutare l'impatto dovuto al taglio della vegetazione, è necessario, innanzitutto, considerare le caratteristiche dei popolamenti vegetazionali interferiti dalle attività di cantiere per la realizzazione delle opere in progetto: si tratta di popolamenti con caratteristiche non ottimali dal punto di vista ecologico e sanitario, in quanto si tratta di popolamenti poco

diversificati caratterizzati dalla presenza di numerosi esemplari morti in piedi, spezzati o schiantati.

Considerando le modalità costruttive dell'opera, la collocazione dell'intervento, che non interessa aree di particolare valore naturalistico, né zone di pregio quali Siti di Interesse Comunitario, Zone di Protezione Speciale, ecc., nonché le caratteristiche intrinseche del popolamento censito presso l'area di intervento (non si segnalano individui di pregio), la **qualità** della componente vegetazionale presente nell'area di intervento è ritenuta, per le motivazioni sopra esposte, **ridotta**.

**L'impatto negativo** corrispondente alla eliminazione della vegetazione per consentire le operazioni di scavo per la realizzazione del canale di adduzione e scarico può considerarsi di **entità contenuta e solo in parte permanente**. I ripristini definiti in fase progettuale, in aggiunta alla rinnovazione naturale presente nel popolamento interferito, potranno consentire di realizzare in tempi non eccessivamente lunghi una situazione non dissimile da quella attuale.

Le operazioni di escavazione e movimentazione del materiale di scavo necessarie alla realizzazione dell'impianto, nonché il transito di macchinari e mezzi di lavoro e trasporto potranno determinare il sollevamento di polveri, le quali potrebbero, in parte, interferire con le funzioni biologiche delle formazioni vegetali presenti nell'intorno dell'area di intervento. Tale impatto può essere considerato di **entità molto contenuta e temporaneo**, in quanto, in relazione alle caratteristiche dell'intervento, la produzione di polveri sarà limitata nel tempo e potrà essere ridotta con l'utilizzo di opportune misure di mitigazione.

Considerate le caratteristiche delle sponde del F. Adda nel tratto sotteso dall'impianto in progetto, caratterizzate da una forte artificializzazione, si presume che la riduzione della portata nel tratto sotteso possa determinare conseguenze di **entità molto limitata** a carico della fascia ripariale. In questo tratto, infatti, le specie vegetali sono concentrate maggiormente sulla parte sommitale della difesa spondale e solo in piccola parte a ridosso del contorno bagnato. Tali impatti, sebbene di entità molto limitata, possono essere considerati come **permanenti**, ma anche come **teoricamente reversibili**, in quanto, in caso di dismissione dell'impianto, le condizioni originali verrebbero con il tempo ripristinate.

Per quanto riguarda la **fauna**, lo sbarramento rappresentato dall'opera di presa di una centrale idroelettrica potrebbe determinare una interruzione nel corso d'acqua, la quale avrebbe ripercussioni negative sulla fauna ittica, impedendo il regolare svolgimento dei processi biologici di numerose specie. Ne risulterebbero particolarmente influenzati i

processi riproduttivi, a causa della impossibilità per alcune specie di raggiungere le stazioni di frega e di ovideposizione, ma anche quelli di alimentazione, a causa dell'alterazione del fenomeno di drift dei macroinvertebrati, fonte di nutrimento di diverse specie ittiche.

Non solo, sotto il profilo ecologico l'interruzione del corso d'acqua determinerebbe una frammentazione delle popolazioni ittiche, la quale, a sua volta, comporterebbe un impoverimento della variabilità genetica all'interno delle popolazioni ed un'alterazione della variabilità specifica tra le popolazioni presenti nel corso d'acqua.

L'opera di presa, ostacolando la risalita delle specie ittiche, se non integrata da opportuni accorgimenti (vedi paragrafo seguente) impedirebbe il ripristino dei popolamenti presenti a monte della stessa, modificati dagli eventi di piena o dalle migrazioni naturali, favorendo il graduale impoverimento specifico e genetico dell'ittiofauna.

La riduzione delle portate nel tratto sotteso potrebbe determinare condizioni critiche per la sopravvivenza dei pesci, spingendo un elevato numero di individui a spostarsi verso ambienti più favorevoli e/o a concentrarsi presso le aree più profonde del letto del Fiume, ancora coperte da uno strato d'acqua sufficiente alla vita delle diverse specie ittiche, con conseguenti rischi di malattie e morie.

L'effettuazione di lavori in alveo, infine, altererà una parte degli habitat destinati al rifugio ed alla ovideposizione di talune specie, sia per interferenza diretta (scavi e costruzioni), che indiretta, variazioni del trasporto solido e intorbidamenti. Tali perturbazioni potrebbero indurre l'immediato abbandono del tratto in questione da parte delle specie maggiormente sensibili, l'allontanamento temporaneo di quelle meno sensibili, la distruzione delle uova e dei giovani individui o la loro asportazione ad opera delle particelle terrose in sospensione

Con riferimento a quanto visto le maggiori criticità si riscontreranno a carico del tratto sotteso: la realizzazione dell'opera determinerà impatti negativi di media entità e limitati nel tempo mentre il funzionamento dell'impianto (derivazione d'acqua) e il mantenimento in efficienza dello stesso (apertura periodica dello scarico di fondo) comporterà interferenze negative stimabili come permanenti e di media entità.

A carico delle altre componenti faunistiche, durante la realizzazione delle opere sono prevedibili impatti di **entità contenuta** e per lo più **temporanei**, riconducibili principalmente al disturbo arrecato in fase di cantiere. Data la minore mobilità potrebbero essere interessati dall'impatto negativo soprattutto gli anfibi ed i rettili, mentre la generalità degli uccelli e

mammiferi potrà trovare lungo l'asta del Fiume ambienti simili adatti a soddisfare le loro esigenze primarie.

#### 9.2.6.5 Ecosistemi

A lavori ultimati invece, sotto l'aspetto ecologico, la realizzazione dell'impianto determinerà una frammentazione dell'ecosistema terrestre derivante dall'isolamento del meandro a monte del taglio previsto per la realizzazione dei canali di adduzione e scarico. Ciò determinerebbe l'isolamento di taluni animali con conseguente impoverimento specifico e genetico delle popolazioni. Anche in questo caso, le maggiori ricadute saranno a carico delle specie meno mobili quali piccoli mammiferi, rettili ed anfibi determinando, se non opportunamente mitigato, **un impatto permanente e di entità sensibile.**

#### 9.2.6.6 Rumore

Durante le operazioni di realizzazione dell'opera le principali sorgenti di rumore saranno costituite dai mezzi d'opera di cantiere e da quelli impiegati per il trasporto dei materiali inerti (autocarri, escavatori, autobetoniere), i quali potrebbero determinare un peggioramento non trascurabile del clima acustico locale, non tanto in relazione ai recettori di natura antropica, (il sito si trova nei pressi di degli insediamenti produttivi), quanto piuttosto in riferimento alle comunità animali degli ambienti naturali e semi-naturali presenti.

Considerata l'ubicazione del sito, dunque, l'impatto negativo derivante dalle attività di cantiere si può definire come **temporaneo** e di **entità contenuta** in relazione ai possibili ricettori sensibili di origine antropica; gli stessi assumono invece **entità media** in relazione alla fauna presente nell'area.

In fase di esercizio dell'impianto, l'interferenza che ne deriva può considerarsi **permanente** (ancorché legata al funzionamento delle turbine) e di **entità trascurabile.**

Ai fini della mitigazione dell'impatto acustico non sono previste specifiche misure oltre quelle adottate nella progettazione dell'impianto e l'impiego di mezzi insonorizzati secondo le normative vigenti, in fase di cantiere.

#### 9.2.6.7 Paesaggio

Durante l'esecuzione dei lavori di realizzazione dell'opera, le interferenze che potranno interessare maggiormente il paesaggio saranno ascrivibili agli scavi necessari alla

realizzazione dei canali in progetto, ai cantieri di costruzione di edifici (centrale) e manufatti (traversa). Considerato quanto riportato circa le caratteristiche del paesaggio presente presso l'area di intervento e dell'opera in progetto, nonché le modalità di realizzazione della stessa, è possibile prevedere, per le suddette operazioni, un impatto negativo sul paesaggio **temporaneo**, in quanto relativo alla sola durata della fase di realizzazione dell'opera, e di **entità contenuta**.

In fase di funzionamento dell'opera, gli impatti principali saranno dovuti alla presenza di nuovi elementi di origine antropica, quali: la traversa, i canali di adduzione e restituzione, la centrale, il passaggio per le imbarcazioni, ed il piccolo edificio per la trasformazione e cessione dell'energia alla rete di distribuzione.

Considerato la tipologia di traversa in progetto, il ridotto numero e le dimensioni contenute dei manufatti di nuova realizzazione, nonché la scelta di interrare gli stessi e di ricorrere, nel caso dell'unico edificio emergente (edificio per la trasformazione dell'energia), a tipologie costruttive e a materiali coerenti con gli esempi locali, è possibile ipotizzare che l'impatto negativo indotto dall'opera sul paesaggio risulterà **permanente e di entità bassa**.

Le maggiori trasformazioni derivanti dalla messa in opera dell'impianto saranno a carico delle componenti naturali o seminaturali: a tal proposito si vuol ancora ricordare come il cantiere interesserà perlopiù superfici di non rilevante valore naturalistico (deposito di inerti, sedime stradale e seminativo), mentre per quanto concerne l'eliminazione delle aree boscate e l'intrusione visiva delle opere, come ampiamente descritto nei capitoli precedenti, al fine di ridurre gli impatti sul paesaggio il progetto prevede interventi di recupero, mitigazione e compensazione.

Inoltre, è presumibile che già in fase di cantiere, alcune superfici, sottoposte a disboscamento per esigenze operative ma non interessate da scavi e/o da manufatti, vengano lentamente ricolonizzate da specie autoctone e pioniere, salici in particolare, presenti nell'intorno del sito di intervento.

Ciò non di meno, la riduzione delle portate in alveo nel tratto sotteso comporterà senz'altro delle modifiche sul paesaggio locale: seppur l'aspetto della porzione di greto che risulterà in secca a seguito della derivazione, non differirà sensibilmente da quanto percepibile in periodo di magra, tale interferenza avrà delle ripercussioni anche sulla navigabilità del Fiume. Come anticipato, infatti, il tratto sotteso ricade nella porzione di Fiume navigabile che si estende dalla briglia della città di Lodi a quella della città di Pizzighetone.

Poiché nel tratto sotteso l'altezza piezometrica della corrente, essendo questa inferiore ad 1 m in condizioni ordinarie, non sarebbe sufficiente a consentire la navigazione, il progetto prevede la realizzazione di una conca di navigazione che consenta alle imbarcazioni di superare i canali di adduzione e scarico. La volontà di garantire la continuità del servizio di navigazione, unitamente alla scelta di realizzare un impianto particolarmente compatto come quello in esame, risulta particolarmente rilevante non solo circa gli aspetti paesaggistici ma anche per quelli socio-economici del contesto in esame.

La realizzazione della traversa in progetto, inoltre, determinando un innalzamento del livello dell'acqua a monte della stessa fino alla confluenza con il Fiume Serio, comporterà la sommersione di un deposito di ciottoli e ghiaia presente lungo la sponda sinistra immediatamente a valle del nuovo ponte sull'Adda. Dal punto di vista percettivo, questa nuova condizione si manifesterà soprattutto con la scomparsa di un elemento strutturale del paesaggio con conseguente riduzione della naturalità e diversità ambientale del contesto in esame. Anche in questo caso, occorre evidenziare come l'area in esame risulti già compromessa dal punto di vista paesaggistico (in primis dall'imponente ponte strallato sull'Adda); ciò, unitamente al fatto che la superficie che verrà sommersa non risulti attualmente colonizzata da specie vegetali ripariali, che di certo conferirebbero ulteriore naturalità al sito, contribuirà a contenere l'interferenza negativa sul paesaggio percepibile.

La valutazione dell'impatto visivo dell'opera non può prescindere, tuttavia, dalla **visibilità** del sito. Questa è stata valutata direttamente sul campo mediante rilievi visivi e fotografici che hanno permesso l'elaborazione di una carta di intervisibilità del sito. Dalla precedente risulta che il bacino di intervisibilità permanente del sito, ovvero l'area entro la quale l'intervento in progetto o parte di esso risulta direttamente visibile a fine cantiere, interessa una superficie piuttosto limitata, che comprende le aree direttamente interessate dalle opere fuori terra (in particolare le zone circostanti la traversa, i canali di adduzione e scarico, la centrale e la conca di navigazione, oltre all'intero tratto del F. Adda sotteso dall'intervento (pari a circa 4,5 Km).

La morfologia dei luoghi e la vegetazione contribuiscono significativamente a contenere la visibilità dell'opera in progetto dalle aree circostanti; parte del greto del Fiume ed alcune delle aree interessate dai manufatti risultano altimetricamente depressi rispetto al tracciato della viabilità principale costituita dalla S.S.591. Da un breve tratto del ponte sull'Adda saranno visibili le operazioni di realizzazione delle opere, ciò in riferimento non tanto al flusso

veicolare quanto alla presenza della pista ciclabile presente sul ponte stesso. Data la tipologia di traversa in progetto e la scelta di interrare la maggior parte dei manufatti, si può senz'altro affermare come le maggiori interferenze siano legate alla fase di cantiere; la chiusura degli scavi nonché gli interventi di rivegetazione previsti in fase progettuale riporteranno in breve gran parte delle aree interessate ad una condizione non dissimile a quella originaria. In particolare, con riferimento alla traversa fluviale, si vuol in questa sede annoverare come, durante la fase di funzionamento dell'impianto, lo sbarramento sarà solo in parte percepibile (salto idraulico) sia da monte, sia da valle, limitatamente a pochi giorni nel corso dell'anno; mentre per quanto concerne le restanti opere (centrale, canale di adduzione e restituzione) risulteranno in gran parte nascoste dalla vegetazione presente. Sempre con riferimento al tratto stradale del ponte, è presumibile pensare che in fase di funzionamento sarà solo visibile parte del canale di adduzione e la relativa parete di destra che sarà prolungata per circa 18 m lungo la sponda del Fiume verso monte.

Circa l'impatto indotto dalla riduzione del contorno bagnato, occorre ancora considerare le caratteristiche delle sponde del F. Adda: la notevole artificializzazione dovuta alle difese spondali, unitamente alle caratteristiche morfologiche locali (con presenza di argini rilevati sia in destra, sia in sinistra orografica) e la presenza di specie vegetali concentrate maggiormente sulla parte sommitale delle sponde, contribuiranno significativamente nel ridurre l'impatto visivo indotto dalla presenza tratto sotteso.

Tra gli insediamenti antropici più prossimi al sito, la frazione BoccaSerio risulta in gran parte nascosta dalla vegetazione. Circa l'edificio per la trasformazione e la cessione dell'energia elettrica, situato in sponda destra orografica (a S della centrale in progetto) data la tipologia costruttiva adottata, riferibile alle costruzioni locali, la realizzazione del fabbricato può essere ricondotta ad una modificazione dello stato dei luoghi che non implica impatti negativi di entità sensibile sul paesaggio.

In generale, dunque, considerate le caratteristiche e la qualità del paesaggio in esame unitamente alla tipologia ed alle modalità costruttive dell'opera, **l'impatto indotto** dall'opera sul paesaggio percepibile risulta di **entità contenuta**, sia in fase di realizzazione dell'opera (con impatti temporanei), sia durante il funzionamento della centrale (con impatti permanenti). Circa questi ultimi, come descritto, l'entità degli impatti è riferibile non tanto alla visibilità dei manufatti, quanto alla lunghezza del tratto sotteso.

### 9.2.7 Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena (punto E.7)

Le verifiche di stabilità della traversa fluviale e delle opere accessorie, in ottemperanza alla L.R. 8/1998 della Regione Lombardia, sarà presentata al Genio Civile in allegato al Progetto Esecutivo dello sbarramento. Il predetto Regolamento Regionale prescrive che l'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale e quella di Concessione di Derivazione, attualmente in corso di istruttoria, siano svolte sulla base del progetto di massima.

## **10. CONCLUSIONI**

L'approfondita disamina sviluppata nella presente relazione, inerente gli aspetti idrologici, idraulici e morfologici dell'area in esame interessata dall'opera in progetto, ha condotto a conclusioni di sostanziale idoneità dell'opera, in ragione di condizioni progettuali di minimo impatto idraulico sul regime di deflusso dei f. Adda e Serio.