

COMUNE DI MONZA

**PROGRAMMA INTEGRATO DI
INTERVENTO**

**AREA 9A
VIA GHILINI**

Relazione Idraulica

PROPONENTE:

IMMOBILIARE PIAVE 83 S.R.L.
VIA PIAVE, 10
20900 - MONZA

PROGETTO URBANISTICO
COORDINAMENTO GENERALE:



CAMERA & PARTNERS
VIA BISTOLFI, 49
20134 MILANO

TEL 02 20241820 FAX 02 29533690
info@camera-partners.com

arch. Davide Camera
arch. Lorenzo Astulfony

DATA PRIMA EMISSIONE
aprile 2014

DATA REVISIONI

ottobre 2014

agosto 2016

DATA SECONDA EMISSIONE
aggiornamento dicembre 2016

CODICE ELABORATO
M.1

rif



GARASSINO s.p.a.

Via Curtatone, 25
20122 MILANO (ITALIA)
Tel.: +39 02 55190493
Fax: +39 02 55181865
E-Mail: garassinosl@garassinosl.it
Internet: www.garassinosl.it



IMMOBILIARE PIAVE 83 S.r.l.
EDIFICI RESIDENZIALI AREA SITA IN
MONZA – Via Piave, 10
Relazione idraulica

Commessa Job **2188**
Protocollo / Rev Doc. No. **05.00**

| Indica le parti modificate con l'ultima revisione *Latest revision*

REV	DATA DATE	DESCRIZIONE DESCRIPTION	REDATTO PREPARED	CONTROLLATO CHECKED	APPROVATO APPROVED
0	28.07.10	Prima emissione	E. Bottazzi	G. Floreale	A. Garassino

MECCANICA DEI TERRENI E INGEGNERIA DELLE FONDAZIONI

Cod. Fisc. e Part. IVA 09893920158 – C.C.I.A.A. Milano 1325801 – Tribunale Milano Reg. Soc. 299857 – Capitale Sociale € 10.400,00 int. vers.

Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ
Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ



INDICE

1. *PREMESSA E SINTESI DELLE CONCLUSIONI*3
2. *ANALISI DEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO*.....6
3. *ANALISI IDRAULICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DI MONZA*..... 17
4. *STUDIO PACHECO*.....32
5. *ALLAGAMENTI OSSERVATI NEL 2002*38
6. *DINAMICHE DI ALLAGAMENTO*40
7. *MODELLO IDRAULICO A MOTO PERMANENTE*50
 7.1 *Geometrizzazione dell'alveo* 50
 7.2 *Portate utilizzate e condizioni al contorno*..... 52
 7.3 *Ponti* 53
 7.4 *Scabrezze e coefficienti di perdite concentrate* 56
 7.5 *Risultati* 57
8. *BIBLIOGRAFIA*.....63
APPENDICE A - TABELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....64
APPENDICE B - CODICE DI CALCOLO HEC – RAS68

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	2	73



1. PREMESSA E SINTESI DELLE CONCLUSIONI

Il presente studio idraulico ha lo scopo di verificare la fattibilità da un punto di vista idraulico di interventi di riqualificazione edilizia di un'area sita in territorio di Monza.

Tale area risulta attualmente occupata da un complesso industriale preesistente.

L'area in esame presenta potenzialmente problematiche idrauliche legate all'esondazione del Fiume Lambro, peraltro evidenziate dall'ultima piena rilevante del Novembre 2002, che ha interessato anche le zone in prossimità dell'area oggetto di intervento.

Il corso d'acqua in oggetto fa parte del reticolo idrico principale della Regione Lombardia, secondo quanto indicato dalla d.g.r. 7/7868 del 2002 e s.m.i..

Nella seguente tabella si fornisce lo schema dei dati contenuti in tale normativa.

Num. progr.	Denominazione	Comuni attraversati
MI014	Fiume Lambro o Lambro Settentrionale	Albate, Arcore, Biassono, Brioso, Brugherio, Carate Brianza, Cerro Al Lambro, Cologno Monzese, Col Turano, Giussano, Lesmo, Macherio, Mediglia, Melegnano, Milano, Monza, Peschiera Borromeo, San Colombano Al Lambro, San Donato Milanese, San Giuliano Milanese, San Zenone Al Lambro, Sesto San Giovanni, Sovico, Triuggio, Veduggio Con Colzano, Verano Brianza, Villasanta, Vizzolo Predabissi
Foce o sbocco	Tratto classificato come principale	Numero iscrizione elenchi acque pubbliche
Po	Tutto il corso	23

Tab. 1.I - Dati riportati sulla d.g.r. n.8/8127 dell'1 Ottobre 2008 (modifica della 7/7868 del 2002) relativi al tratto di fiume oggetto dell'intervento.

Essendo il Lambro un corso idrico le cui acque sono pubbliche, vige su di esso la normativa relativa al R.D. 523/1904 ed in particolare quanto indicato all'art. 96 comma f.

Pertanto gli interventi in esame hanno preso in considerazione, coerentemente con quanto riportato nella suddetta legge, le distanze minime da rispettare. Le nuove costruzioni sono quindi state mantenute ad una distanza di 10 m dal muretto della sponda sinistra del Lambro, mentre nello stato attuale esse risultano in alcuni punti poste ad una distanza leggermente inferiore.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	3	73

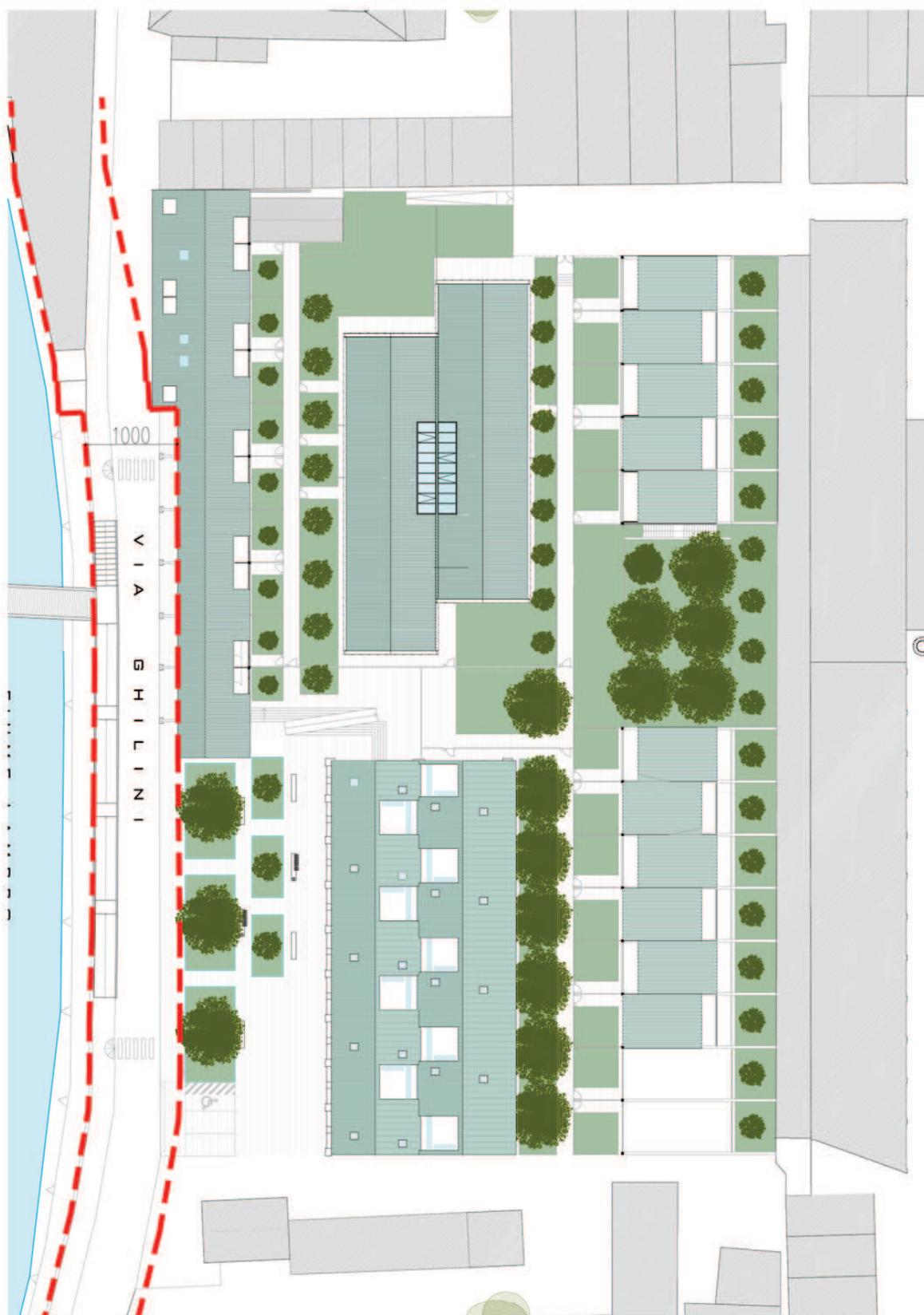


Figura 1.1 - Interventi in progetto e rispetto della fascia di rispetto del R.D. 523/1904 di 10 m (in rosso tratteggiata).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	4	73



Nella presente relazione si fa dapprima un quadro dei principali studi recenti che hanno interessato l'area, cioè il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po (P.A.I.) (cap. 2), l'analisi idraulica allegata al Piano di Governo del Territorio di Monza (cap. 3) e lo studio recentemente redatto dallo Studio Pacheco per il Comune di Monza (cap. 4).

Il capitolo 5 sviluppa il tema degli allagamenti verificatisi nel Novembre 2002, mentre nel cap. 6 vengono descritte le dinamiche di allegamento del territorio in cui è compresa l'area in esame.

Viene poi studiato un modello idraulico a moto permanente che, partendo dalle informazioni geometriche utilizzate all'interno del P.A.I. e da sopralluoghi locali, intende verificare, sia pure in modo approssimativo, lo stato conoscitivo derivante dai sopra citati studi redatti precedentemente.

Nelle appendici si forniscono i risultati in forma tabellare delle simulazioni svolte e la descrizione del codice di calcolo utilizzato.

Dall'analisi degli allagamenti storici, degli studi pregressi, dettagliatamente analizzati nella presente relazione, e dal modello di simulazione idraulica sviluppato con HEC-RAS qui presentato si evidenzia che intorno all'area in questione nelle condizioni attuali si verificano battenti idrici di poche decine di centimetri rispetto al piano campagna, che interessano Via Giordano Ghilini, i fabbricati immediatamente a monte e a valle e parte di Via Piave, senza giungere all'unico accesso attuale situato lungo Via Piave e quindi senza interessare direttamente l'area oggetto di studio.

Per questo motivo la scelta progettuale di rialzare l'area in esame di 80 cm rispetto al piano stradale di Via Ghilini, fornisce un adeguato franco di sicurezza nei confronti degli allagamenti in relazione a quanto previsto dai modelli idraulici e non modifica le attuali dinamiche di piena nell'area di esondazione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	5	73



2. ANALISI DEL PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL FIUME PO

L'Autorità di Bacino del Fiume Po, di seguito chiamata AdBPo, ha redatto il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Fiume Po, di seguito denominato P.A.I.. Alla base del P.A.I. vi è lo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona".

In tale studio vengono analizzati i principali affluenti del Po e i corsi idrici principali della Pianura Padana. Per questi fiumi vengono stimate le portate di piena generalmente a partire da metodi afflussi – deflussi e viene simulato il funzionamento dell'asta fluviale mediante un opportuno software di calcolo (Mike 11), che sia anche in grado di tenere in conto delle laminazioni dovute alle esondazioni.

Le simulazioni idrauliche sono state svolte a partire dal rilievo geometrico dei fiumi, realizzando una serie di sezioni topografiche lungo l'asta fluviale.

Tra i corsi idrici analizzati ricade anche il Lambro, nel cui modello sono state inserite 805 sezioni. L'area interessata dal presente studio ricade tra le sezioni LA 94.2 (a monte, progressiva 56794 m) e LA 94.1 (a valle, progressiva 57047 m) del modello idraulico del P.A.I., come si vede nella successiva figura.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	6	73

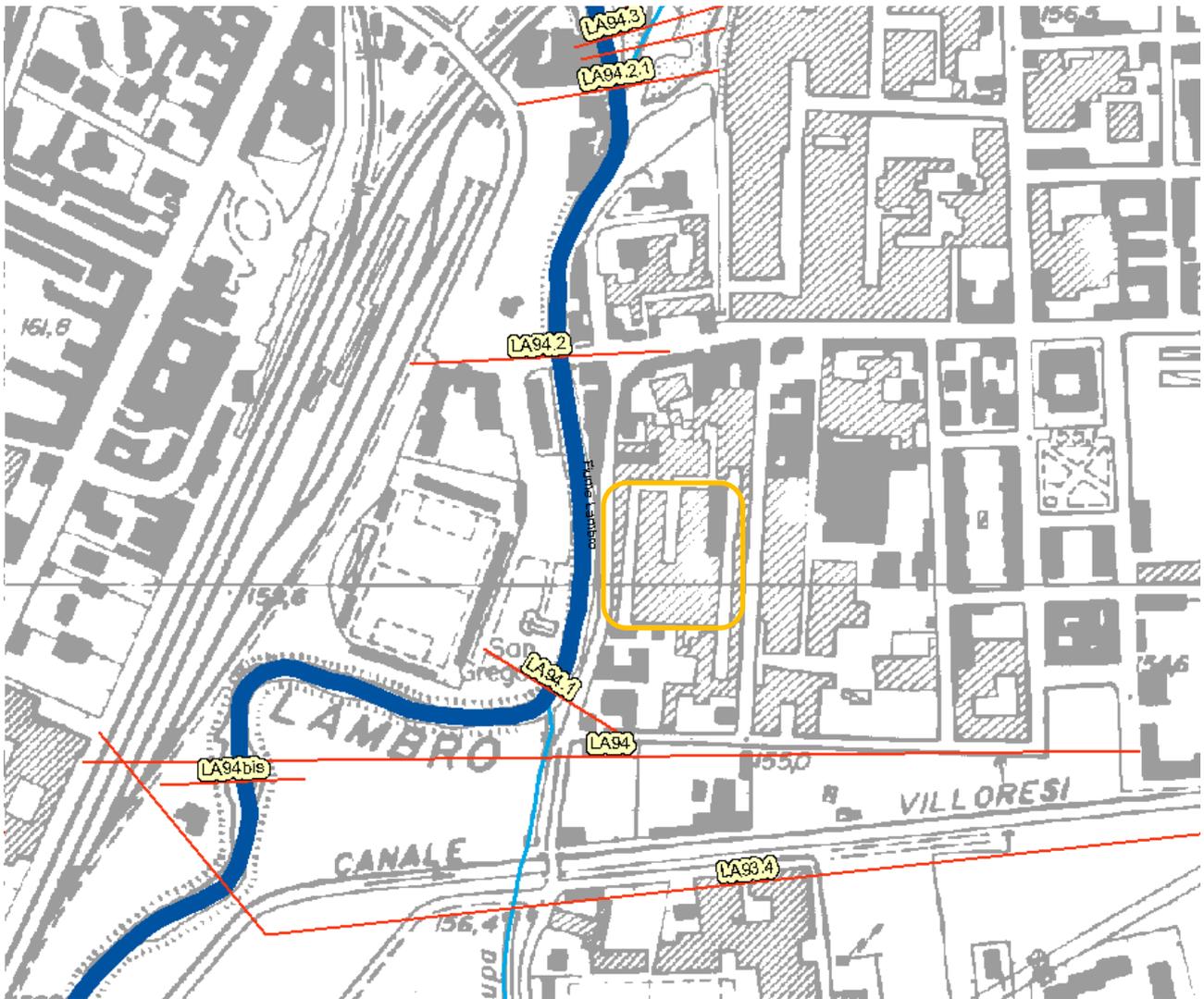


Figura 2.1 - Sezioni rilevate dall'AdBPo e in arancione l'area di intervento.

L'asta fluviale nel tratto di Monza presenta serie problematiche di compatibilità idraulica, che hanno determinato già in passato gravi episodi di allagamento. Per contenere le problematiche di allagamento l'AdBPo ha previsto come intervento difensivo la realizzazione di un by-pass esterno all'abitato di Monza, che sarà in grado di deviare la maggior parte del flusso al di fuori dell'abitato. Questa configurazione viene chiamata, all'interno dello studio dell'AdBPo, di progetto.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	7	73

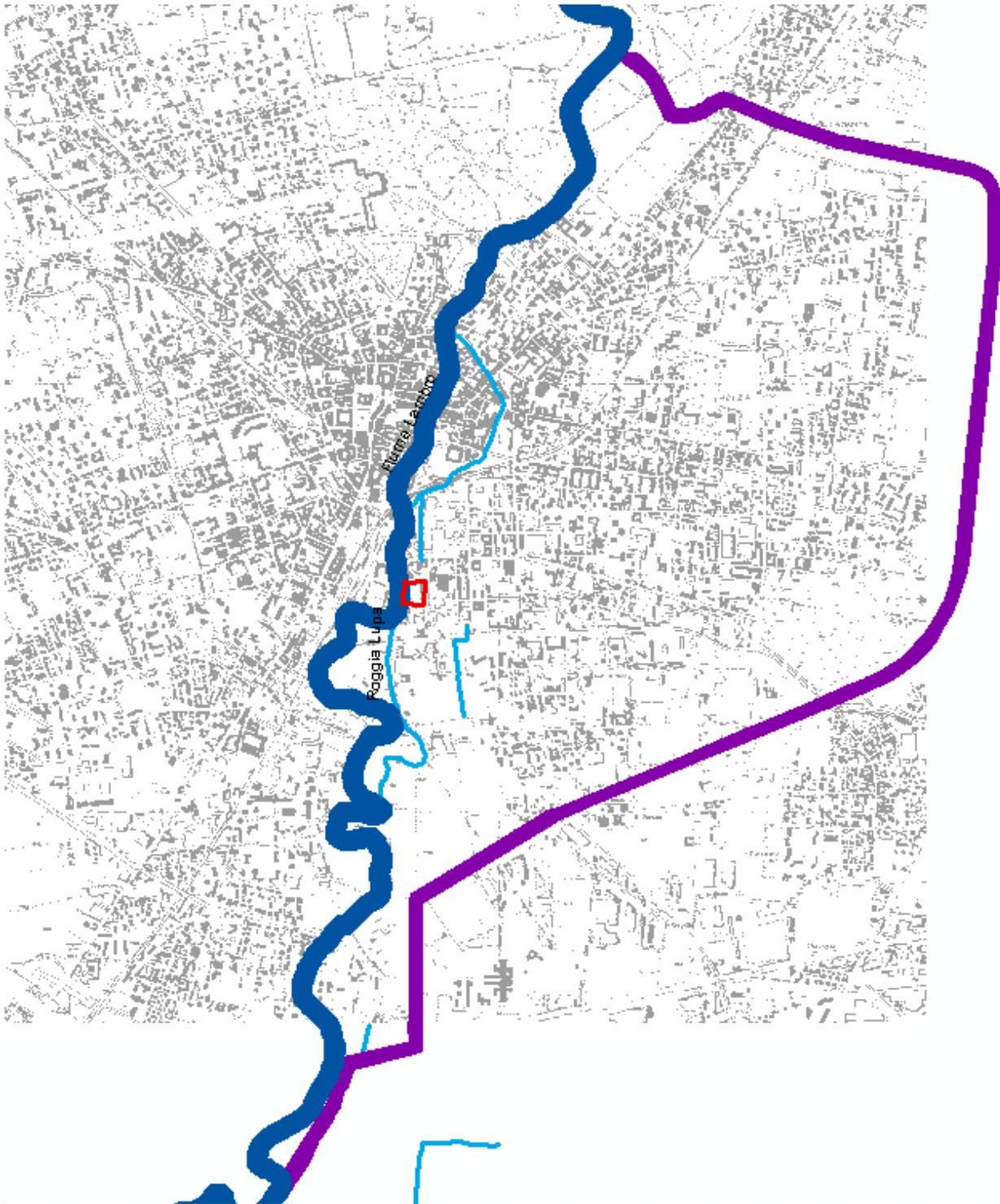


Figura 2.2 - Rappresentazione del diversivo studiato dall' AdBPo (in viola). In blu il Lambro, mentre in rosso l'area di intervento.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	8	73



Le portate di piena stimate dall'AdBPo per la zona esaminata sono riportate nella seguente tabella.

progressiva [m]	Q ₁₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]	Q ₅₀₀ [m ³ /s]	Q _{200progetto} [m ³ /s]
56801	88.5	211.6	229.8 (ramo principale) 3.1 (ramo secondario)	23.8 (ramo principale) 125 (by-pass)
56927	96	213.0	235.2	24.1 (ramo principale) 125 (by-pass)

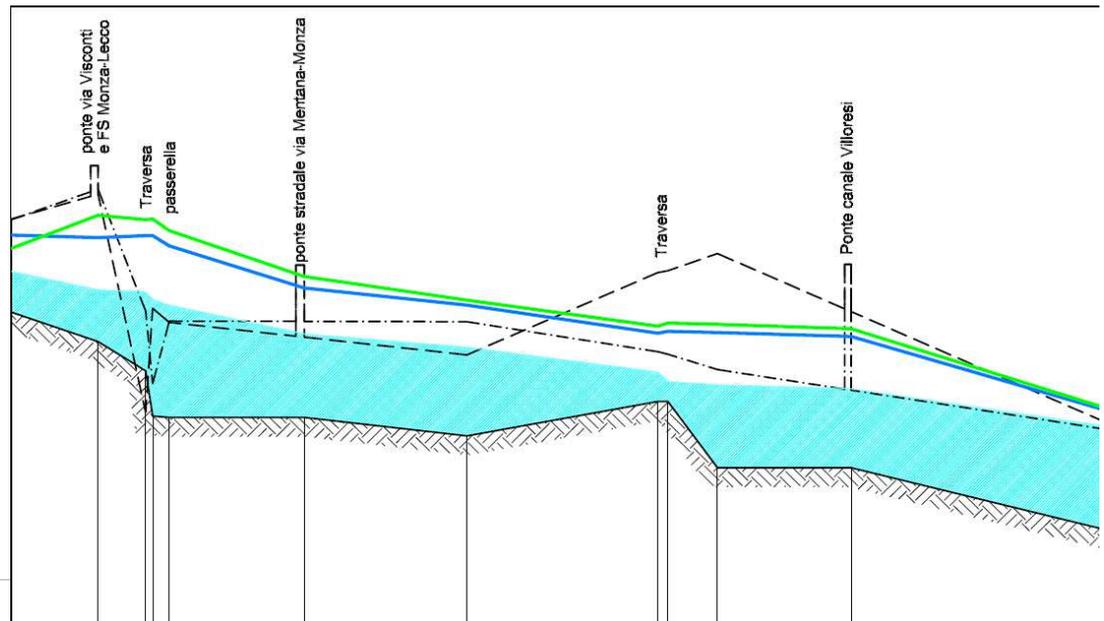
Tab. 2.I - Portate di piena stimate dall'AdBPo per la zona esaminata.

I livelli idrici associati alle piene di riferimento sopra citate sono i seguenti.

sezione	h ₁₀ [m s.m.]	h ₂₀₀ [m s.m.]	h ₅₀₀ [m s.m.]
LA 94.2	155.13	156.58	156.94
LA 94.1	154.71	156.03	156.19

Tab. 2.II - Livelli idrici stimati dall'AdBPo nell'area esaminata.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	9	73



SEZIONI		LA94.6	LA94.5	LA94.3 LA94.3bis LA94.2.1	LA94.2	LA94.1	LA94 LA94bis	LA93.4	LA93.3
PROGRESSIVE (m)		56398	56473	56547 56586 56584	56794	57047	57344 57360	57437	57645
QUOTE TERRENO (m s.l.m.)	Sponda Sinistra	158.74	159.52	152.68 153.97 155.95	157.26	154.47	157.06 157.12	157.66	157.32
	Fondo Alveo	155.82	154.90	153.97 152.95 152.52	152.52	151.93	153.01 153.01	150.93	150.93
	Sponda Destra	158.72	159.68	155.86 153.58 155.53	157.30	155.52	154.57 154.50	154.01	157.18
LIVELLI IDRICI (m s.l.m.)	Piena TR=10 anni	157.10	156.51	156.46 156.23 156.03	155.13	154.71	153.94 153.63	153.53	153.42
	Piena TR=200 anni	156.24	158.17	156.23 156.23 157.90	156.58	156.03	155.15 155.22	155.18	155.05
	Piena TR=500 anni	157.81	158.85	158.73 158.74 158.39	156.94	156.19	155.38 155.48	155.44	155.30

Figura 2.3 - Profili idrici nel tratto esaminato fra la progressiva 56801 e 56927 (da Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona AdBPo)

Le fasce fluviali proposte all'interno del P.A.I. sono riportate nelle successive figure.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	10	73

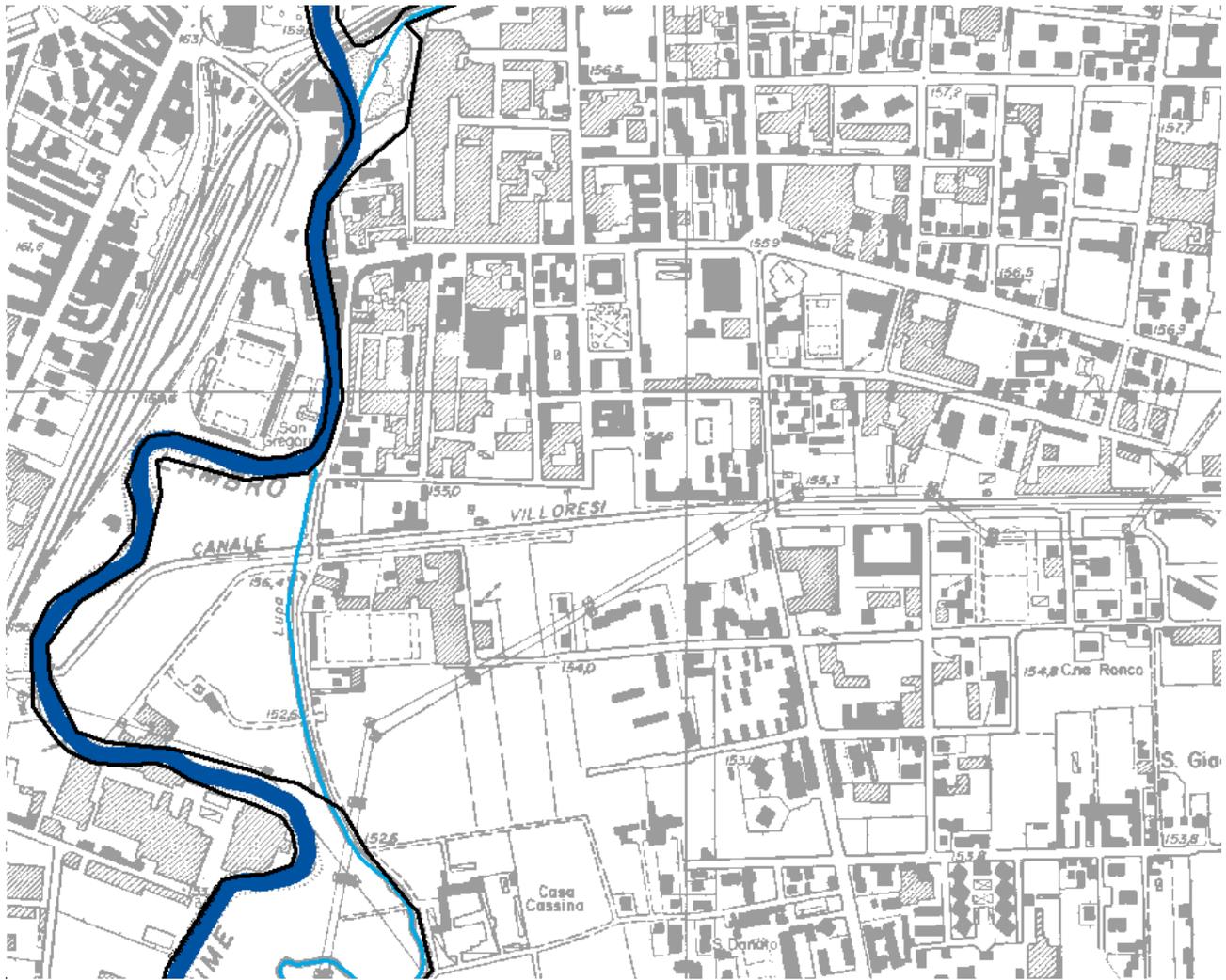


Figura 2.4 - Fascia A del P.A.I. per la zona esaminata (in nero con linea continua).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	11	73

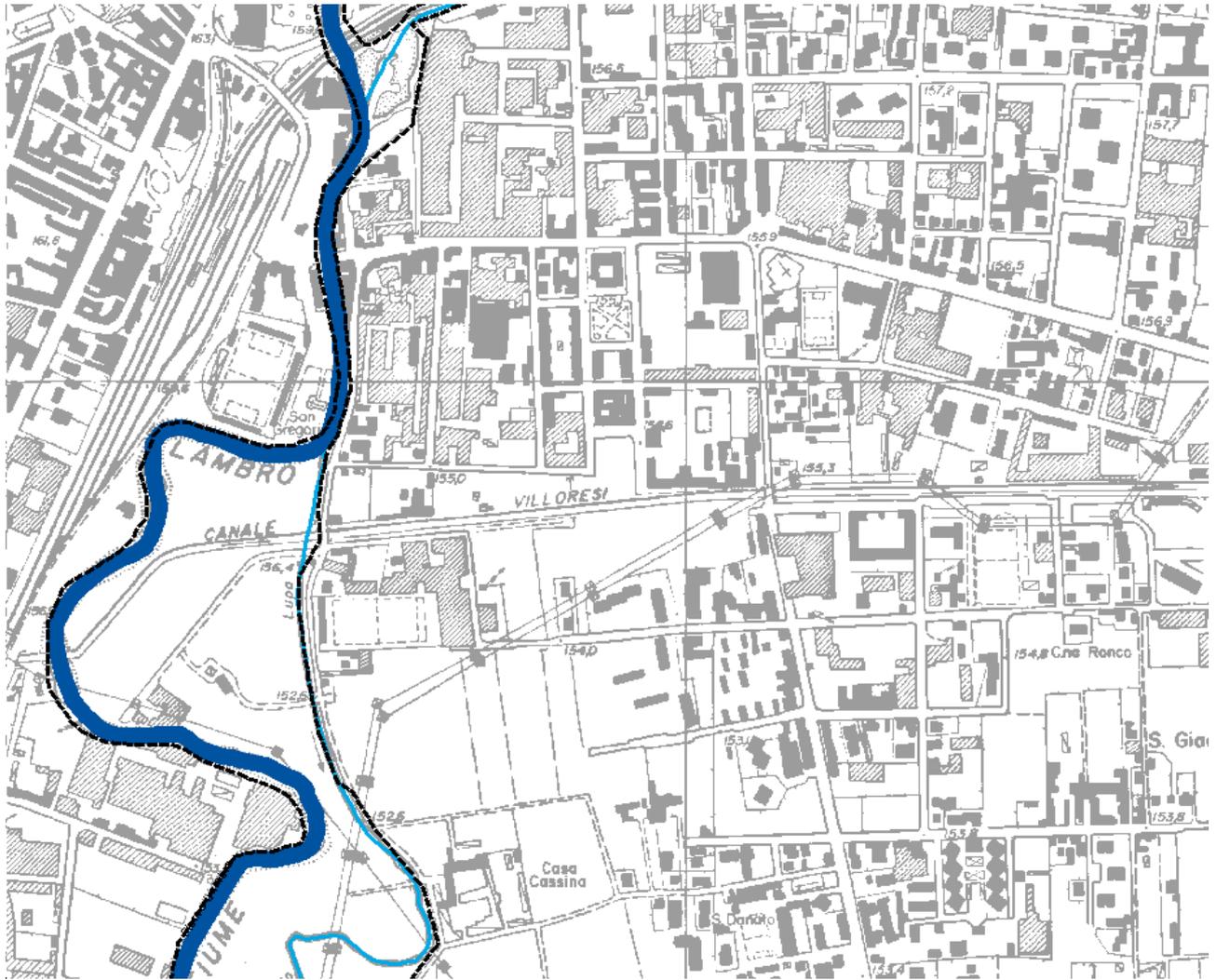


Figura 2.5 - Fascia B del P.A.I. per la zona esaminata (in nero con linea tratteggiata).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	12	73

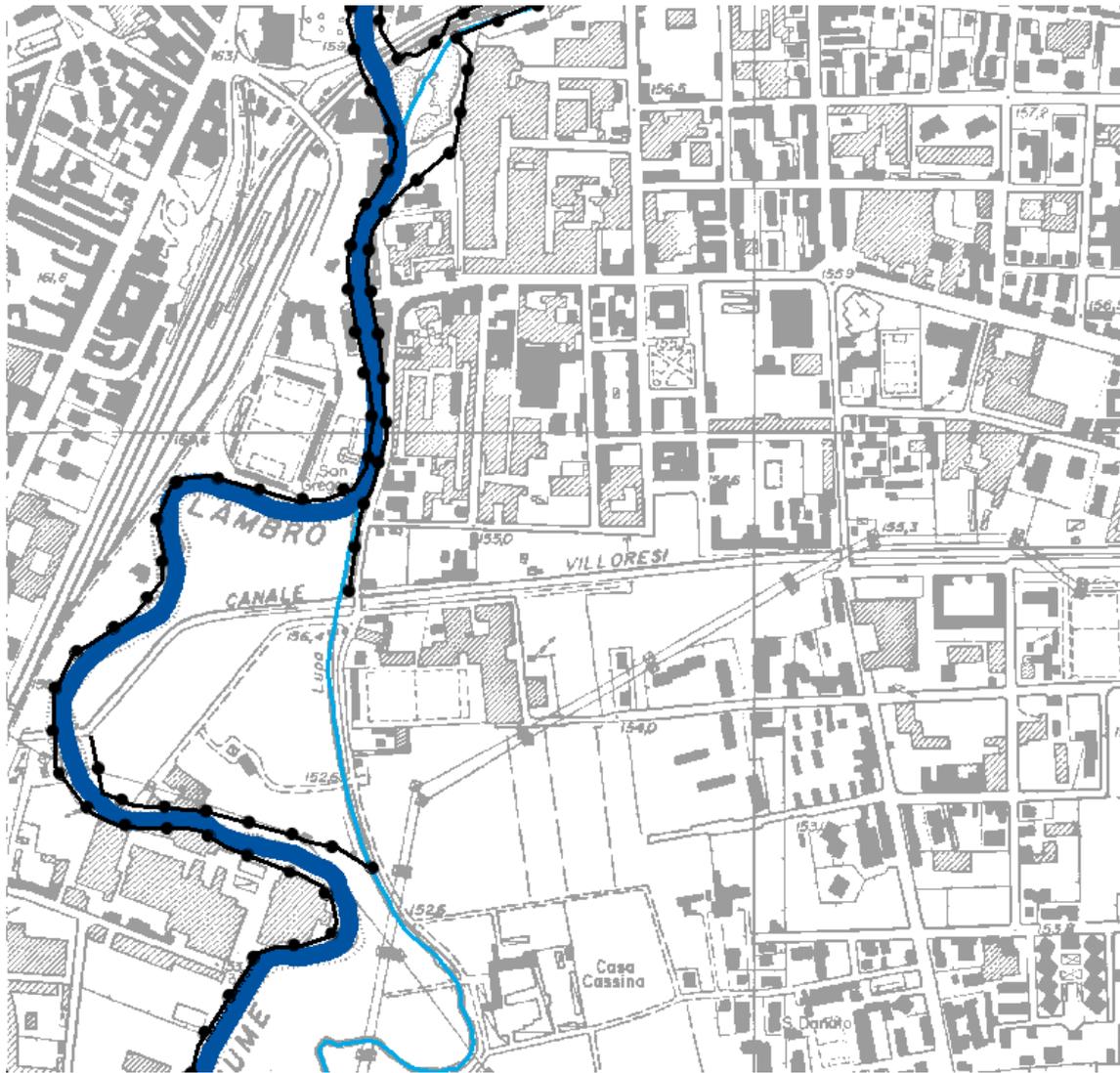


Figura 2.6 - Fascia B di progetto del P.A.I. per la zona esaminata (in nero con linea a pallini).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	13	73

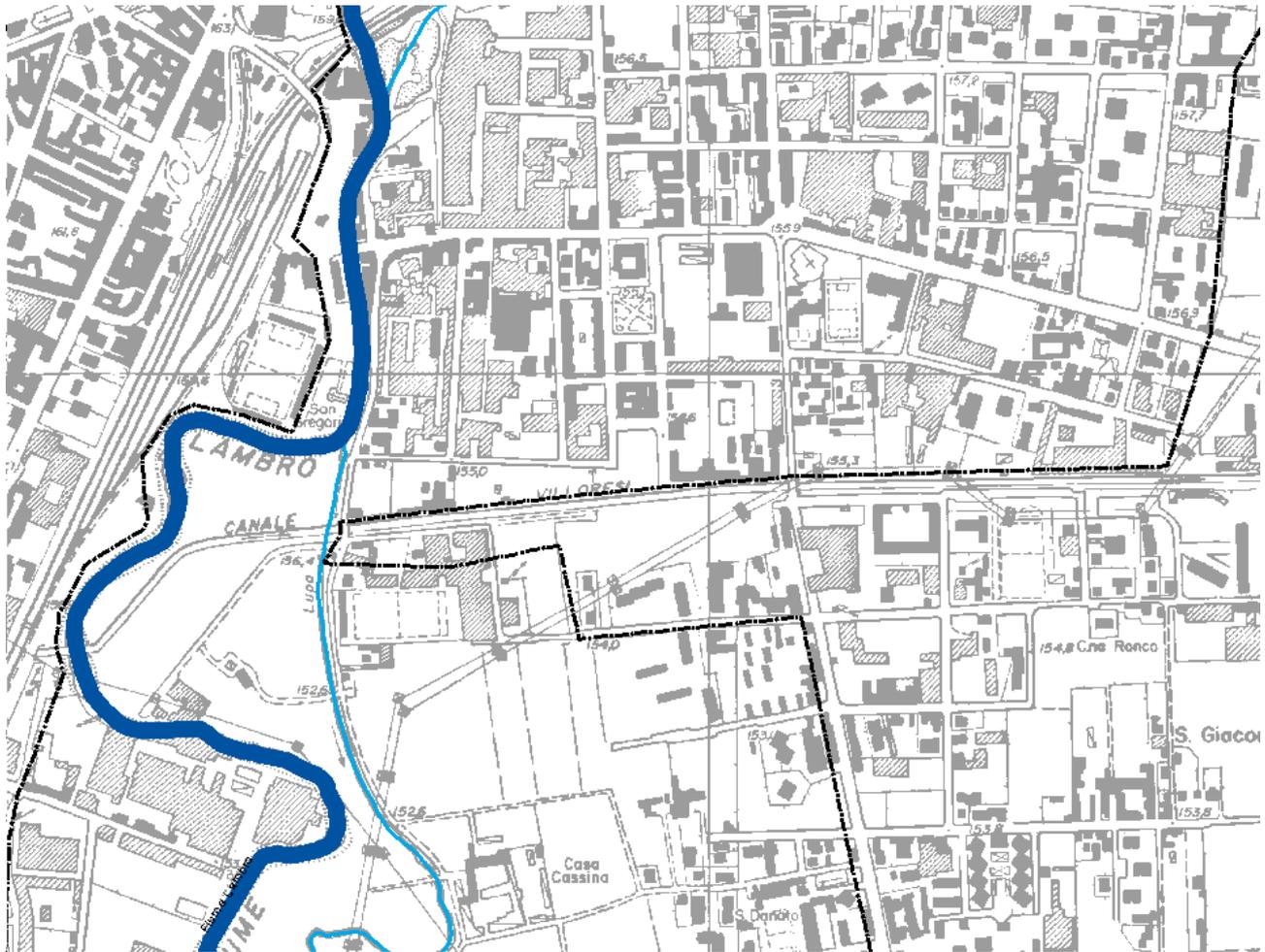


Figura 2.7 - Fascia C del P.A.I. per la zona esaminata (in nero con linea tratto - punto).

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	14	73

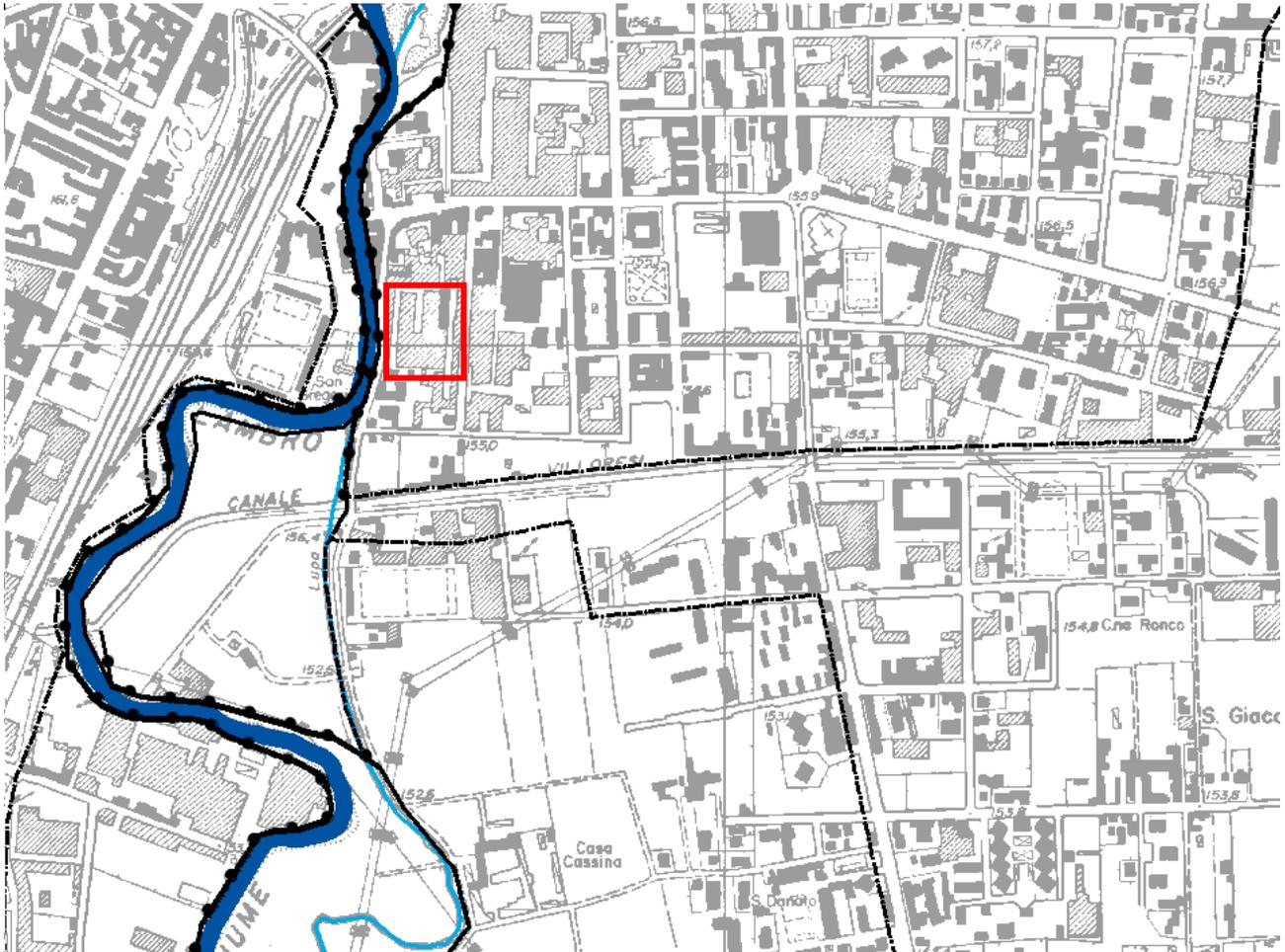


Figura 2.8 - Sovrapposizione delle fasce A, B, B di progetto e C del P.A.I. per la zona esaminata (in rosso).

Come si vede dalla figura precedente la sovrapposizione tra le fasce riportate all'interno del P.A.I. evidenzia sostanzialmente una coincidenza delle fasce A, B e B di progetto nell'area interessata dall'intervento, che risulta esterna a queste fasce. L'area risulta invece contenuta all'interno della fascia C che copre un territorio molto più ampio rispetto alle precedenti.

Gli allagamenti stimati dall'Autorità di Bacino del Fiume Po sono riportati nella successiva figura, dove si nota che l'area interessata dall'intervento non viene interessata da allagamenti con tempo di ritorno di 10 anni, ma al contrario lo è per eventi con tempo di ritorno di 200 e 500 anni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	15	73

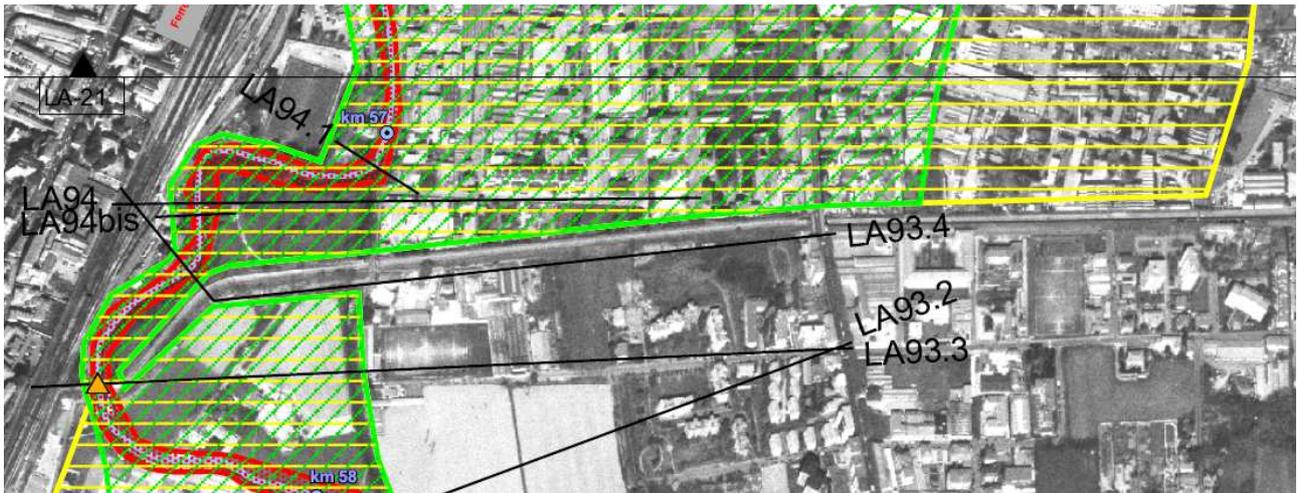


Figura 2.9 - Allagamenti riportati nel P.A.I. dell'AdBPo per tempi di ritorno di 10 (in rosso), 200 (in verde) e 500 anni (in giallo). (da Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona AdBPo)

Nella successiva immagine si mostra l'andamento dei livelli idrici simulato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nella zona esaminata. Come si può osservare il colmo di piena si presenta particolarmente lungo e questo determina che un eventuale sfioro nel territorio circostante comporta volumi di esondazione molto rilevanti.

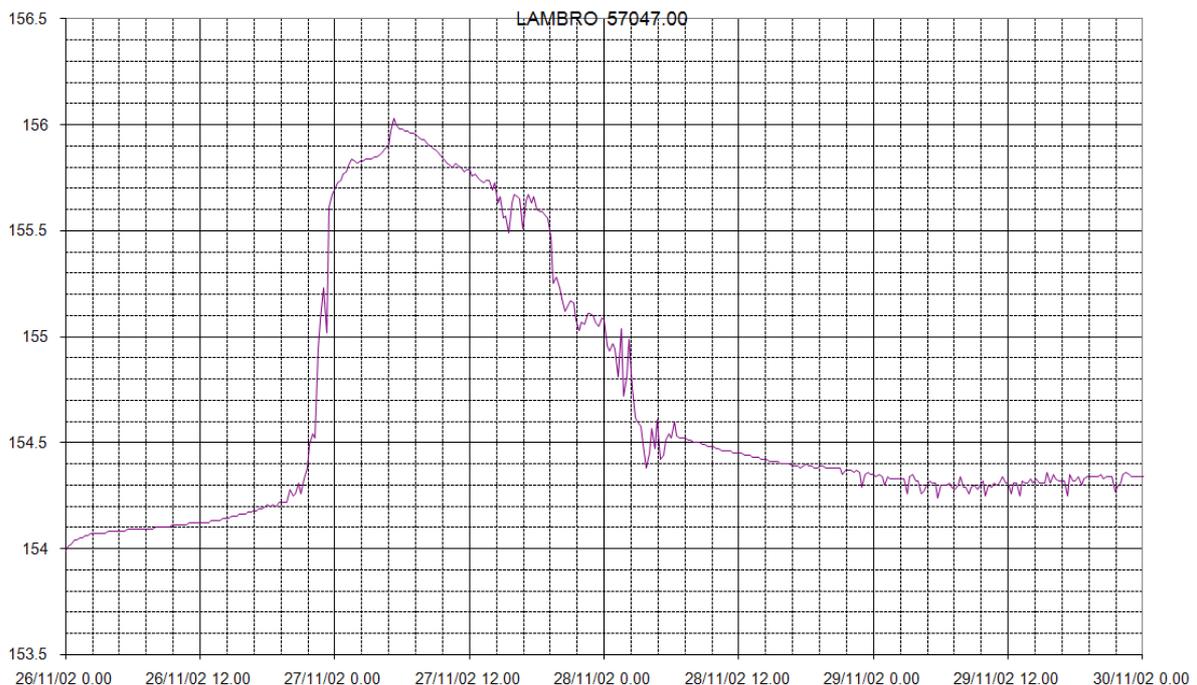


Figura 2.10 - Andamento dei livelli idrici di piena simulato dall'AdBPo per la progressiva 57047 m (sezione LA 94.1) con tempo di ritorno di 200 anni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	16	73



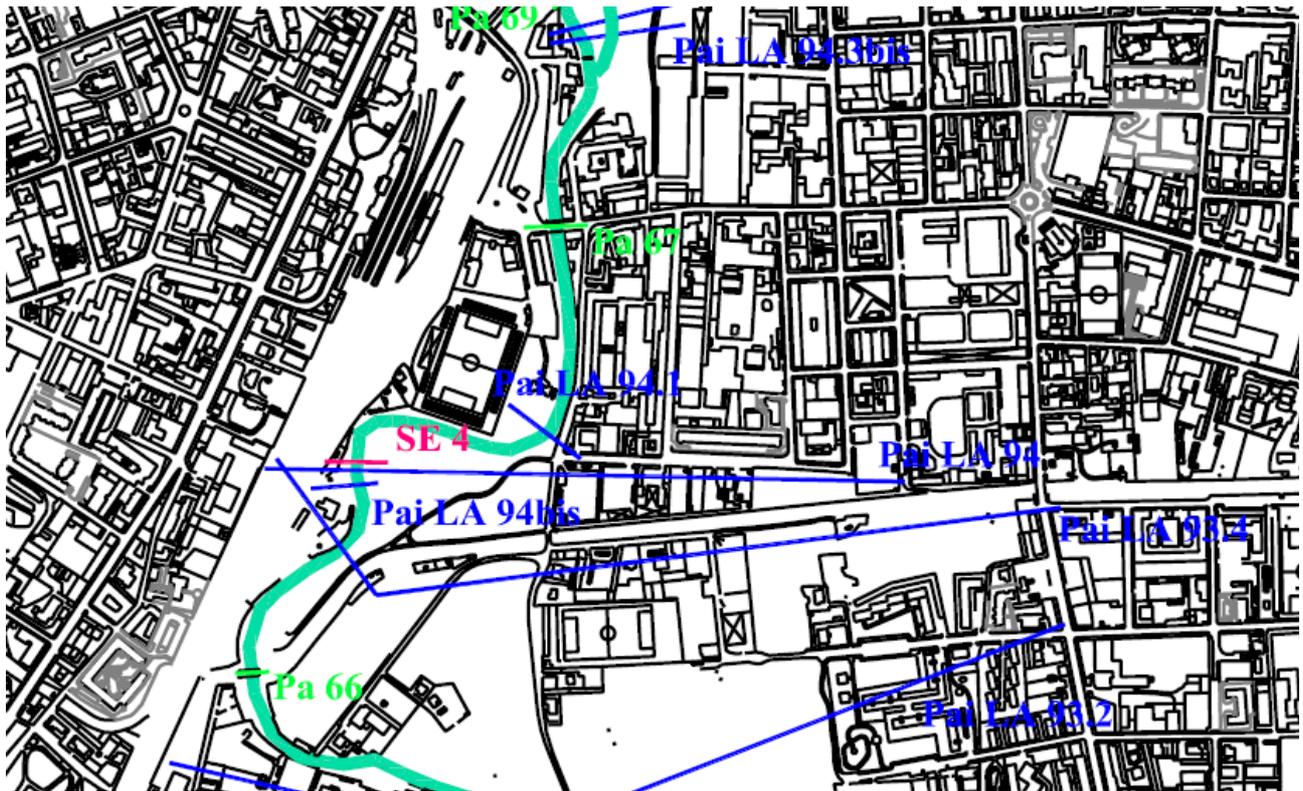
3. ANALISI IDRAULICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO DI MONZA

Nel 2003 il Comune di Monza ha commissionato, nell'ambito dello sviluppo del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) alla REA Società cooperativa s.r.l. lo studio idraulico di dettaglio sulle piene del fiume Lambro e la zonazione del rischio nei territori della fascia C del P.A.I. e della fascia A e B ricadenti all'interno del centro edificato. Tale studio viene allegato all'interno della "Componente geologica, idrogeologica e sismica".

Dapprima lo studio sopra citato riporta un'analisi bibliografica dei principali studi eseguiti sul tratto di Lambro di interesse. A partire dagli studi pregressi viene anche riportata una caratterizzazione geometrica che comprenda tutti i rilievi eseguiti sino ad allora sul Lambro. Con tali sezioni è stato ricostruito un modello monodimensionale del Lambro in HEC-RAS. Il modello risulta dunque differente da quello P.A.I. che raccoglie solo le sezioni rilevate dall'AdBPo. L'area oggetto di intervento ricade tra le sezioni Pa67 e P.A.I. LA 94.1.

Come dati di portata sono stati invece utilizzati quelli calcolati all'interno dello studio "Perimetrazione aree a rischio idraulico ai sensi della legge 267/98 – Fiume Lambro a valle di Villasanta (MI)" redatto da Studio Paoletti Ingegneri Associati nel Settembre 1999.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	17	73



legenda

- Pai LA Sezione Pai 2001
- PL Sezione Piano Lambro 1986
- PA Sezione Paoletti 1999
- SE Sezione Soilexpert 2002

Figura 3.1 - Sezioni utilizzate nel modello idraulico della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

Per l'area esaminata viene utilizzata una portata con tempo di ritorno di 200 anni pari a 220 m³/s. Il pelo libero presenta una quota di 155.65 m s.l.m. (sezione P.A.I. LA 94.1) e 156.66 m s.l.m. (sezione Pa 67).

Le simulazioni vengono anche svolte con tempi di ritorno di 100 e 500 anni e pure nel caso in cui vengano adottati gli interventi previsti dal P.A.I., che realizzeranno una serie di interventi a monte e un by-pass in grado di abbattere la portata transitante a Monza sino a 165 m³/s (somma del

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	18	73



by-pass e del ramo principale) e il tirante a 155.46 m s.l.m. alla sezione P.A.I. LA 94.1 e 156.16 m s.l.m. alla sezione Pa 67.

LAMBRO	Valle	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q _{200 progetto}
-1	PAI LA 94.3	204	220	250	165
-2	PAI LA 94.3bis	204	220	250	165
-3	PA 67 Monte	204	220	250	165
-3.5	PA 67 Valle	204	220	250	165
-4	PAI LA 94.1	204	220	250	165

Tab. 3.I - Quadro delle portate utilizzate per le simulazioni idrauliche (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

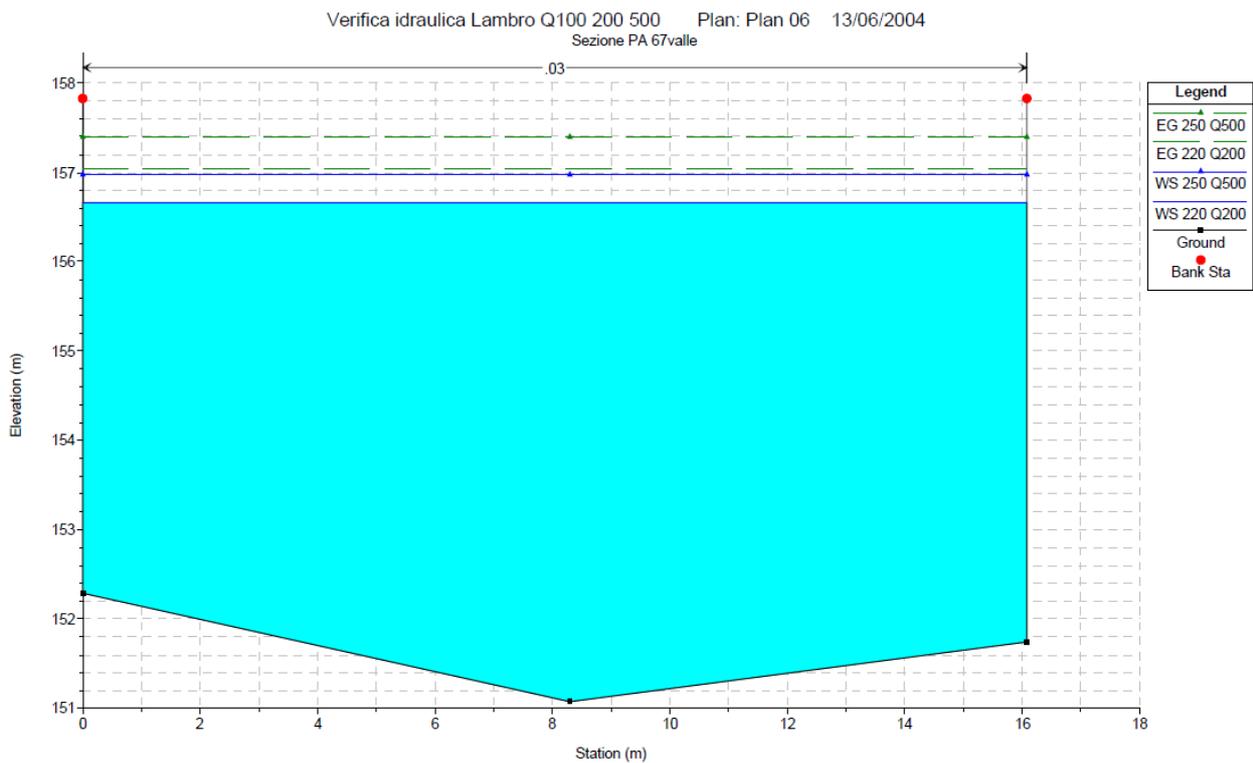


Figura 3.2 - Simulazione idraulica presso la sezione Pa 67. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	19	73

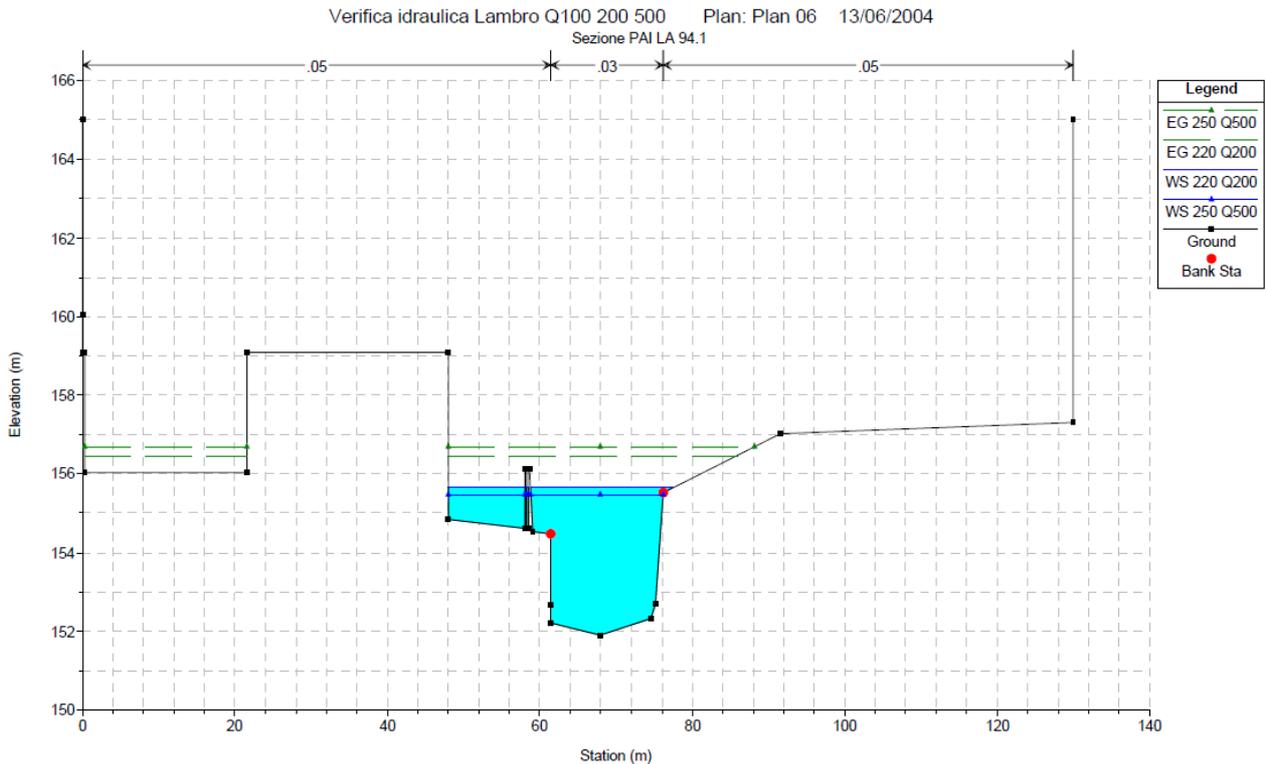
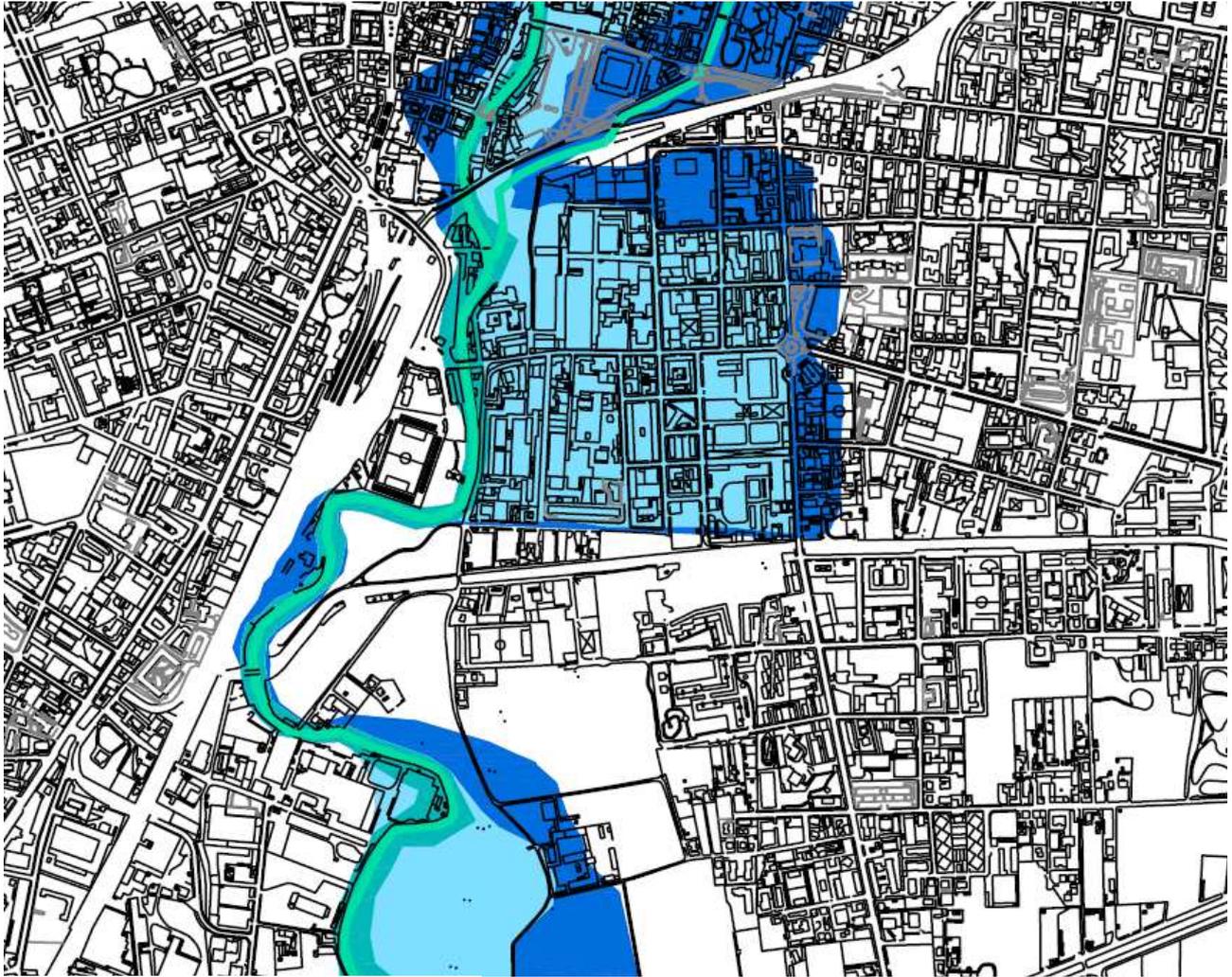


Figura 3.3 - Simulazione idraulica presso la sezione P.A.I. LA 94.1. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

L'analisi con modello monodimensionale ha portato alla nuova ridelimitazione delle fasce fluviali, come sotto riportato. Si nota un aumento della superficie occupata dalla fascia B rispetto a quella considerata dal P.A.I., mentre una riduzione della fascia C.

Nelle successive figure si mostra anche il confronto tra la nuova ridelimitazione delle fasce e quelle del P.A.I. vigente (in data della redazione dello studio idraulico del P.G.T.) e quelle della variante del P.A.I..

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	20	73

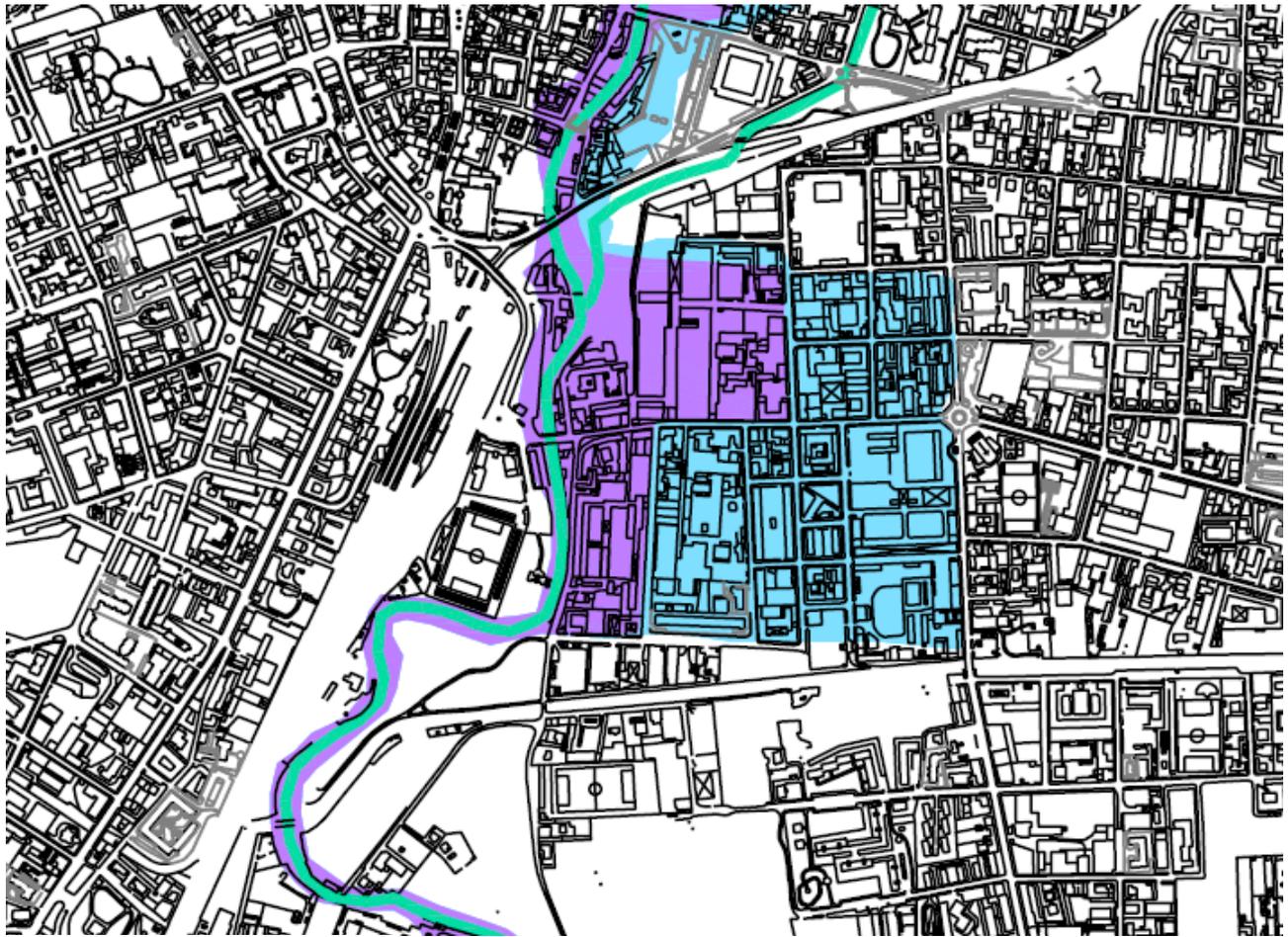


legenda

-  Limite fascia A
-  Limite piena duecentenaria - fascia B
-  Limite piena cinquecentenaria Fascia C

Figura 3.4 - Identificazione delle fasce fluviali ridefinite nell'ambito della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	21	73



legenda

- fascia B di progetto
- fascia B

Figura 3.5 - Identificazione delle fasce fluviali ridefinite nell'ambito della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	22	73

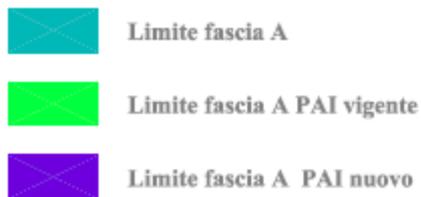
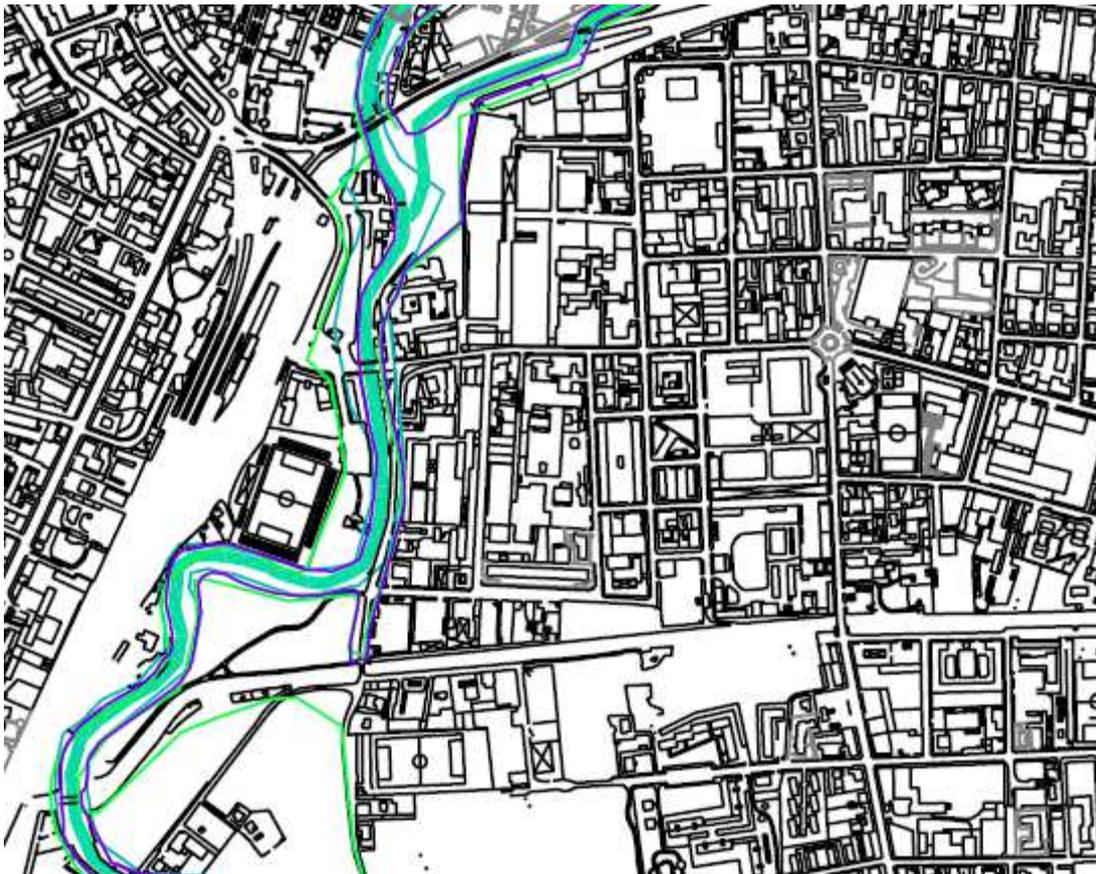
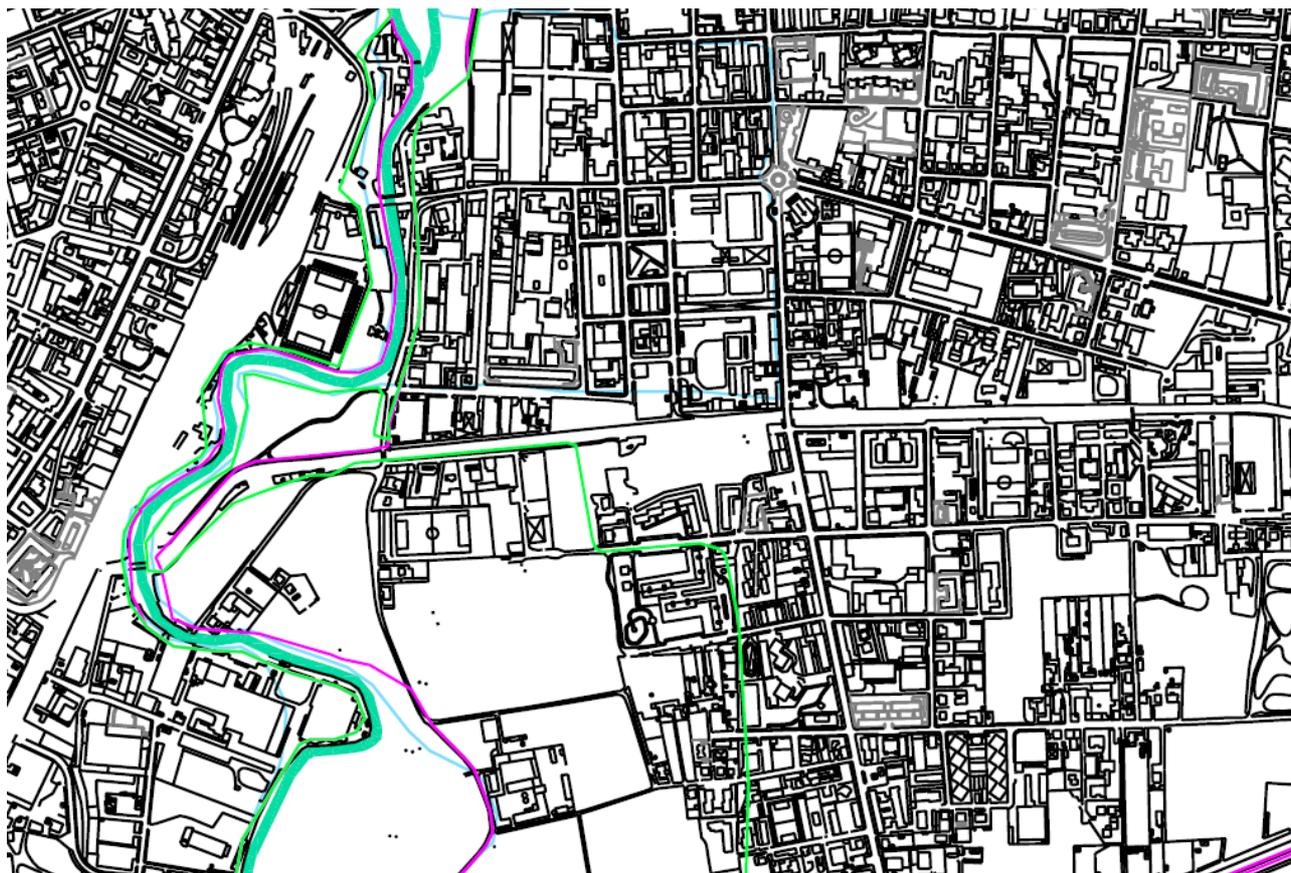


Figura 3.6 - Confronto tra la fascia A del P.A.I. e quella ridefinita nell'ambito della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	23	73

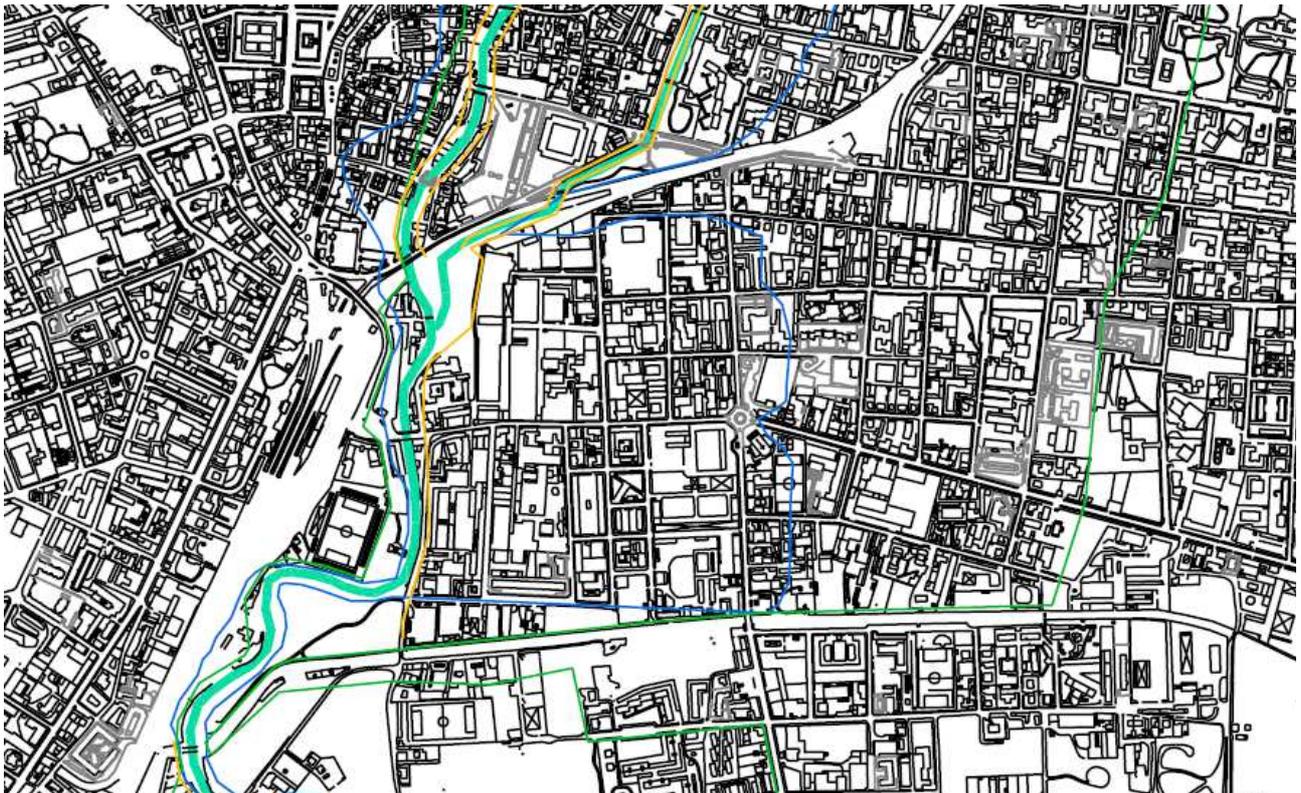


legenda

- Limite fascia B
- Limite fascia B PAI vigente
- Limite fascia B PAI nuovo

Figura 3.7 - Confronto tra la fascia B del P.A.I. e quella ridefinita nell'ambito della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	24	73



legenda



Limite fascia C



Limite fascia C PAI vigente



Limite fascia A PAI nuovo

Figura 3.8 - Confronto tra la fascia C del P.A.I. e quella ridefinita nell'ambito della Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004.

Come si vede nella successiva figura l'area oggetto di intervento è situata in una zona nella quale si sono avuti allagamenti nel mese di Novembre 2002.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	25	73



LEGENDA

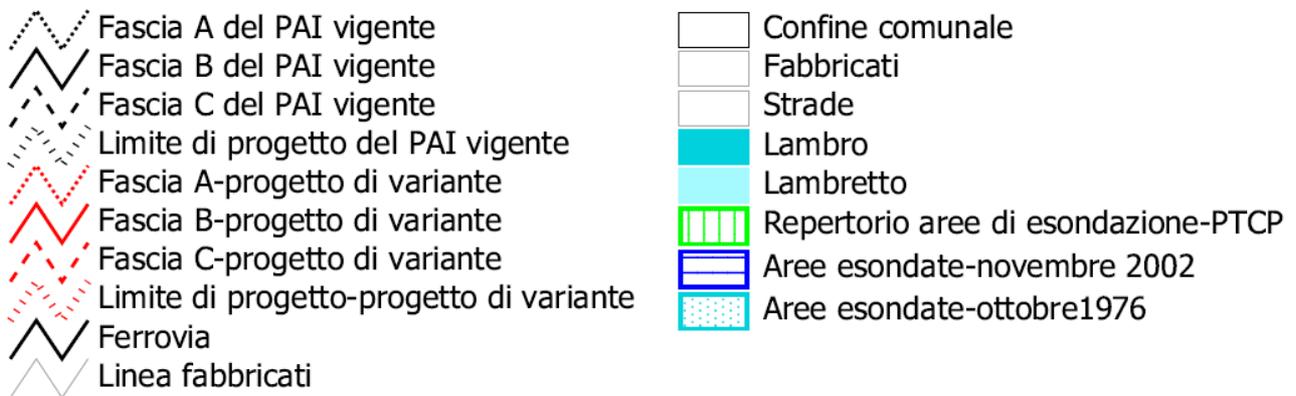


Figura 3.9 - Carta con individuazione delle aree allagabili. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

Lo studio riporta le seguenti prescrizioni e considerazioni sull'area oggetto del presente progetto.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	26	73



Per quanto riguarda invece la zona compresa tra il canale Villorosi e via Mentana, occorre dire che non sono stati segnalati allagamenti durante le piene storiche.

Per quanto appena detto, nel solo centro edificato (centro storico e area tra Canale Villorosi e via Mentana), si ritengono ammissibili gli interventi di urbanizzazione a patto che vengano messi in atto accorgimenti costruttivi che impediscano danni a beni e strutture e/o consentano la facile e immediata evacuazione dell'area inondabile da parte di persone e beni mobili.

Oltre alla delimitazione delle fasce fluviali, all'interno dello studio idraulico, viene calcolata la pericolosità idraulica. Si riporta nel seguito un breve estratto del citato studio e la cartografia allegata.

La classificazione della pericolosità idraulica, condotta seguendo le prescrizioni del DGR n. 7/7365 dell' 11 dicembre 2001, individua come parametri per la valutazione del rischio la probabilità dell'evento, il tirante idrico e la velocità.

La definizione delle aree esondabili, oggetto della prima parte del presente studio, rappresenta di per sé una determinazione della probabilità di esondazione del fiume, legata a tempi di ritorno di 200 e 500 anni.

Analizzando la velocità, spesso molto bassa e con distribuzione spaziale poco variabile in relazione alla morfologia pianeggiante del territorio comunale, si è ritenuto, senza timore d'incorrere in errore, di considerare alla base dell'analisi il massimo tirante idrico registrato nel corso dell'evento.

Pertanto, la zonazione è stata condotta individuando quattro classi di pericolosità per ognuna delle due aree (fascia B e CQ200 Q500) interessate dalle piene duecentenaria e cinquecentenaria.

Si è fatto riferimento a quattro classi di pericolosità a gravità crescente alle quali sono state attribuite le seguenti definizioni:

- | | | |
|------------------|-----|-------------------------|
| 1- Moderato | P1: | tirante < 0.3 m |
| 2- Medio | P2: | 0.3 m < tirante < 0.6 m |
| 3- Elevato | P3: | 0.6 m < tirante < 1.0 m |
| 4- Molto elevato | P4: | tirante > 1.0 m |

Tali limiti di tiranti sono stati definiti a seguito dell'analisi cartografica delle aree esondabili.

A seguito di una discretizzazione dell'area per tiranti si sono individuati i limiti (da 0 a 2.2 m) e in base all'estensione di tali aree si è ritenuto ragionevole provvedere ad una suddivisione delle classi di rischio come precedentemente evidenziato.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	27	73



legenda

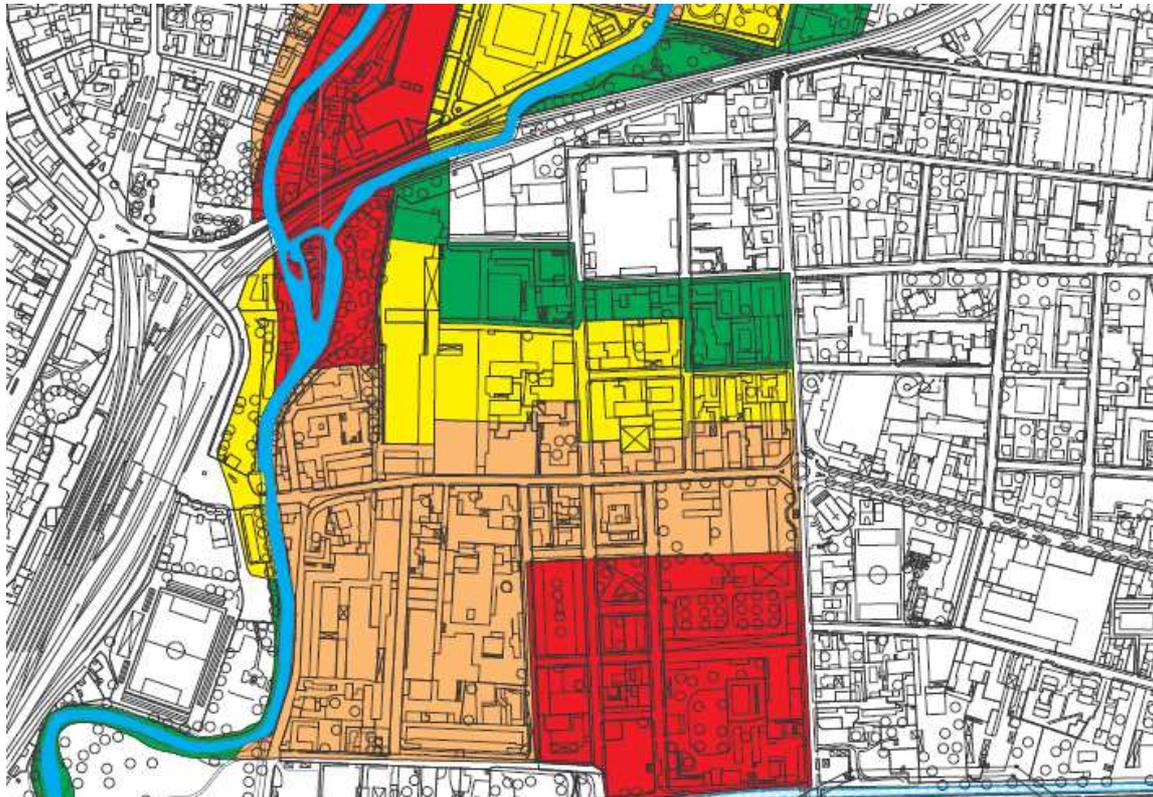
-  Indice di pericolosità P1
-  Indice di pericolosità P2
-  Indice di pericolosità P3
-  Indice di pericolosità P4

Figura 3.10 - Indice di pericolosità riferito ad una piena con tempo di ritorno di 200 anni. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	28	73



L'area oggetto del presente progetto ricade nella classe di rischio R3, ovverosia "Rischio elevato", cioè con tiranti compresi tra 0.6 m e 1.0 m per piene con tempo di ritorno di 200 anni. In queste zone sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale.



LEGENDA

-  **Classe R1 - rischio moderato**
per il quale sono possibili danni sociali ed economici marginali
-  **Classe R2 - rischio medio**
per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e lo svolgimento delle attività socio economiche
-  **Classe R3 - rischio elevato**
per il quale sono possibili per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi e interruzione delle attività socio economiche, danni al patrimonio culturale
-  **Classe R4 - rischio molto elevato**
per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici e alle infrastrutture, danni al patrimonio culturale

Figura 3.11 - Zonazione del rischio idraulico. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	29	73



All'interno dello studio allegato al P.G.T. vengono riportate le seguenti possibili misure atte a mitigare il rischio.

		R1	R2	R3	R4
A	Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture:			X	X
A1	Realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiali sopraelevate rispetto al livello della piena di riferimento, evitando in particolare la realizzazione di piani interrati			X	X
A2	Realizzare le aperture degli edifici poste sotto il livello di piena di riferimento a tenuta stagna; disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente			X	X
A3	Progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso di scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità				X
A4	Progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale				X
A5	Favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo	X*	X*	X*	X*
B	Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni		X	X	X
B1	Opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche dei terreni di fondazione			X	X
B2	Opere di difesa per evitare i fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali			X	X
B3	Fondazioni adatte a limitare i fenomeni di cedimento o rigonfiamento di suoli coesivi		X	X	X
C	Misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione	X	X	X	X

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	30	73



C1	Uscite di sicurezza situate sopra il livello della piena centennale aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori			X	X
C2	Vie di evacuazione situate sopra il livello di piena			X	X
D	Utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrostatiche			X	X
E	Utilizzo di materiali per costruzioni poco danneggiabili al contatto con l'acqua			X	X

* si intendono escluse le aree esterne ai centri edificati che invece possono essere utilizzate, previa verifica della spinta dell'acqua sulle eventuali opere, come naturali casse d'espansione delle piene.

Tab. 3.II - Possibili misure di mitigazione del rischio idraulico. (da Relazione idraulica allegata alla Componente Geologica del P.G.T. di Monza, 2004)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	31	73



4. STUDIO PACHECO

Nel 2008 il Comune di Monza ha commissionato allo Studio Pacheco la realizzazione di un modello idraulico bidimensionale di dettaglio per valutare la rispondenza delle previsioni urbanistiche con la piena con tempo di ritorno di 200 anni. All'interno di tale studio sono dunque stati valutati gli allagamenti e le dinamiche di esondazione per l'intero territorio di Monza.

Il modello bidimensionale è stato "tarato" sulla base degli allagamenti osservati durante l'evento di piena del 2002 come riportato nella successiva figura.

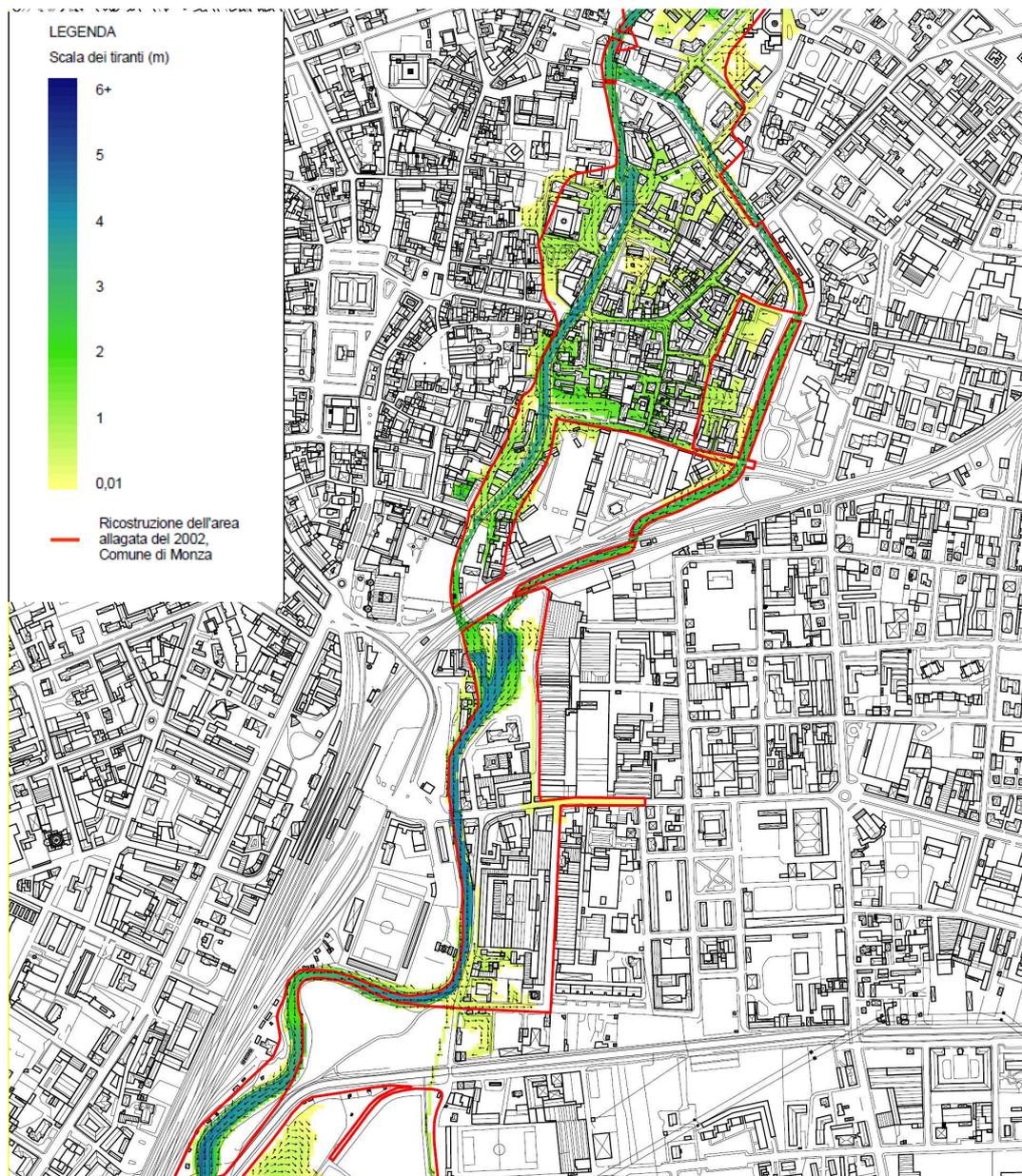


Figura 4.1 - Ricostruzione della piena 2002 effettuata con il modello idraulico (da Studio Pacheco)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	32	73



All'interno di tale studio sono quindi stati valutati gli allagamenti e le dinamiche di esondazione per l'intero territorio di Monza per la piena di progetto.

A partire da queste informazioni sono stati proposti alcuni interventi per mitigare gli impatti della piena.

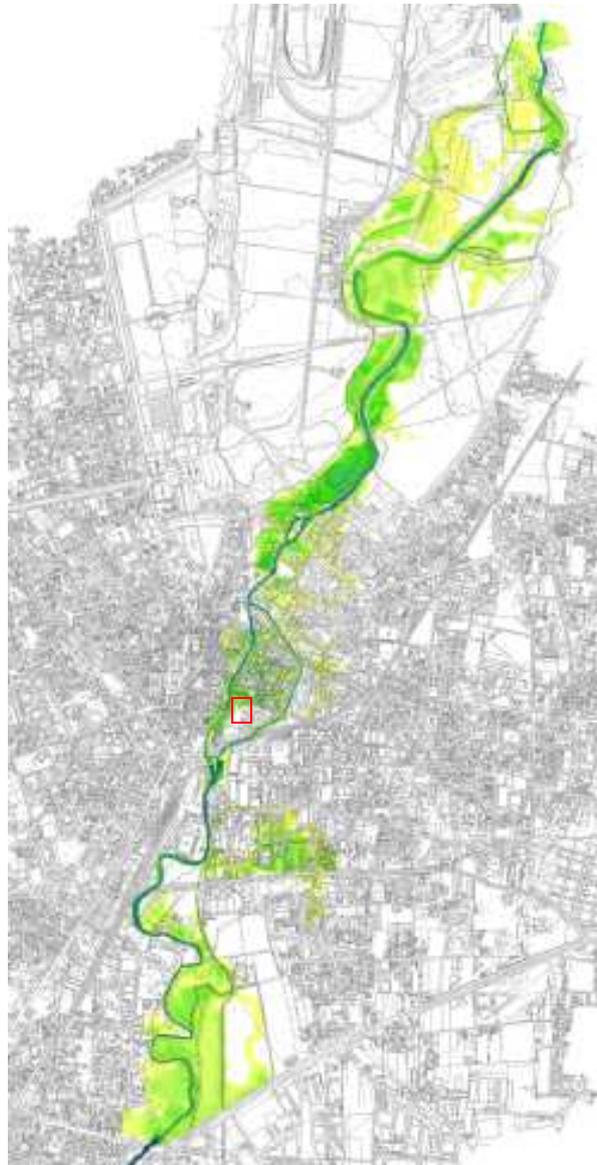


Figura 4.2 - Rappresentazione dei tiranti idrici nel territorio di Monza. In rosso l'area in esame all'interno del presente studio. (da Studio Pacheco)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	33	73



Figura 4.3 - Analisi delle zone allagate per tempo di ritorno di 200 anni nello stato di fatto. (da Studio Pacheco)

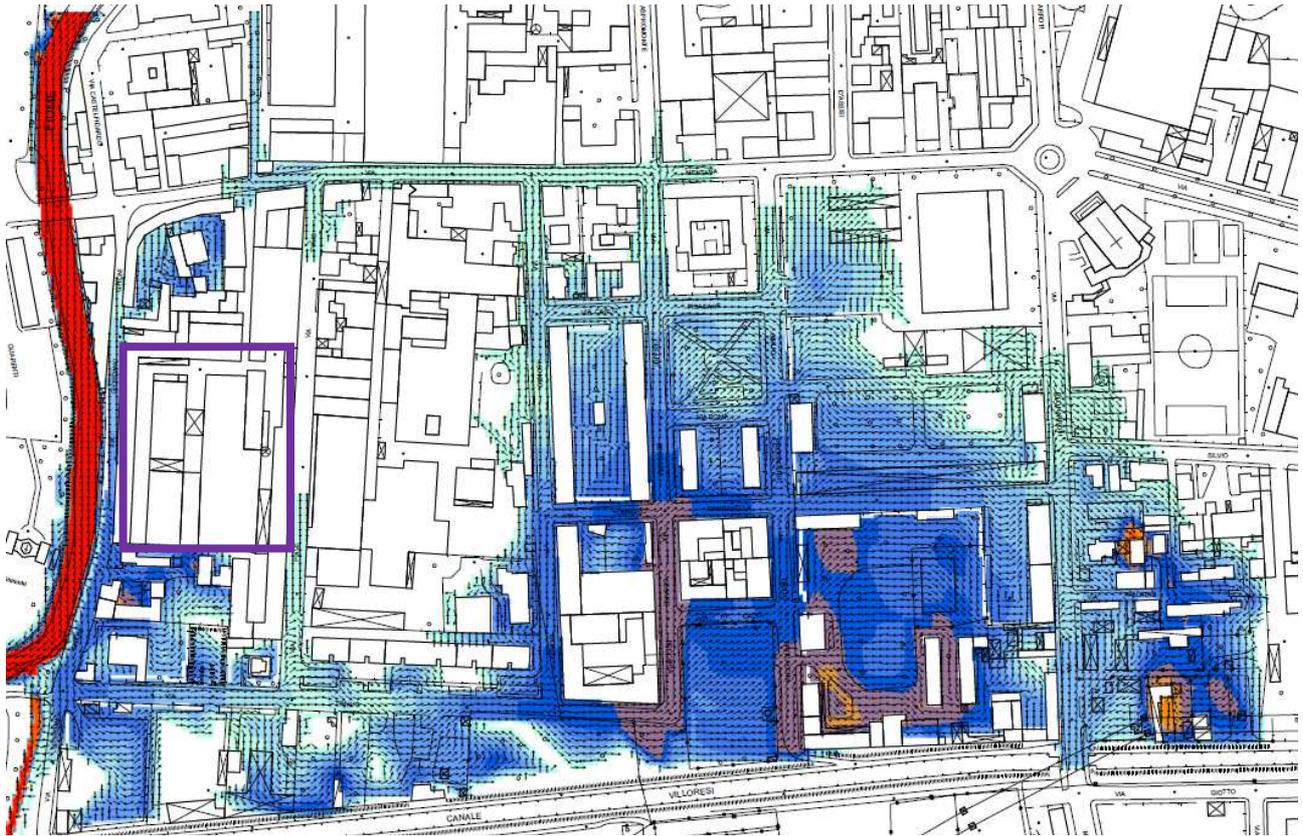
Più di recente è stata redatta da parte di Studio Pacheco anche un'analisi di dettaglio dell'area dove si concentra l'intervento presentato all'interno di questo studio. La simulazione è stata svolta sia ante operam che post operam, ipotizzando un rialzamento dell'intera area oggetto di intervento.

Nelle successive figure si mostra il risultato della simulazione bidimensionale.

Le simulazioni svolte sono in buon accordo con quanto analizzato mediante l'analisi svolta all'interno di questo studio e in base alle osservazioni raccolte in campo:

- il muretto di Via Ghilini è insufficiente;
- la Roggia Lupa costituisce un punto di ingresso delle acque del Lambro;
- Via Michelangelo costituisce un recapito delle acque della zona depressa ad Est.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	34	73



Tiranti idrici (m)

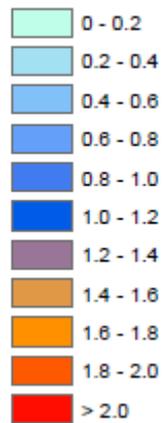
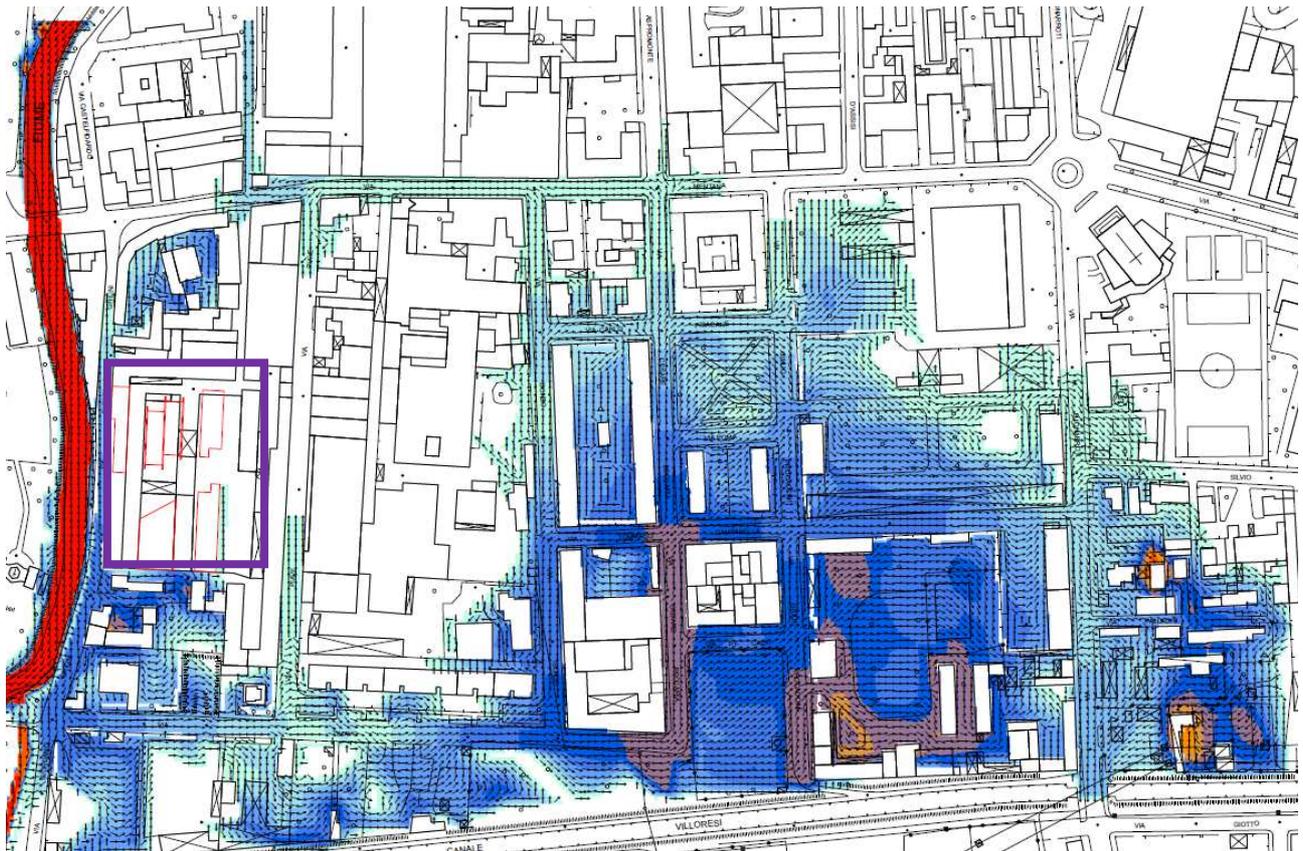


Figura 4.3 - Tiranti idrici nello stato di fatto. In viola l'area di interesse.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	35	73



Tiranti idrici (m)

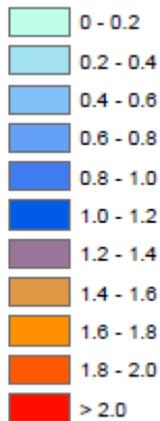


Figura 4.4 - Tiranti idrici nello stato di progetto. In viola l'area di interesse.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	36	73

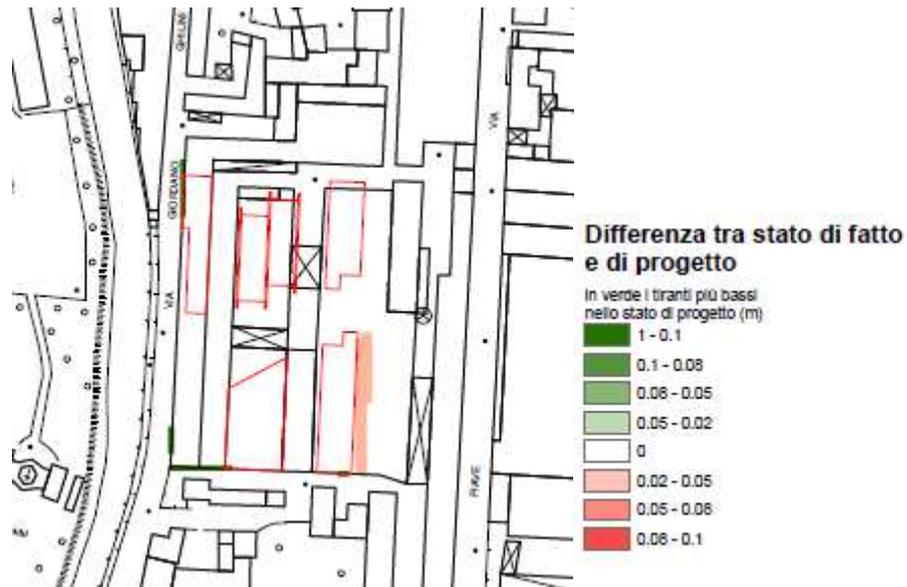


Figura 4.5 - Differenze tra lo stato di fatto e di progetto.

Come si osserva dalle precedenti figure gli allagamenti nello stato di fatto sono concentrati in Via Ghilini, mentre interessano solo parzialmente Via Piave, che presenta quote maggiori. Gli allagamenti non vengono invece ad interessare l'area oggetto di intervento grazie alla presenza del muro degli edifici lungo Via Ghilini. Analogamente l'interno del comprensorio industriale non viene interessato, grazie alla presenza di un solo accesso lungo Via Piave, che si presenta a quote maggiori rispetto ai livelli idrici calcolati.

La situazione nello stato di progetto non si modifica sostanzialmente, in quanto è stato inserito nel modello un rialzamento complessivo del terreno nell'area di intervento pari a 80 cm rispetto al piano stradale.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	37	73



5. ALLAGAMENTI OSSERVATI NEL 2002

Nel Novembre 2002 il bacino del Lambro è stato soggetto ad un forte evento pluviometrico, che ha prodotto una piena con esondazioni diffuse nel territorio di Monza. Lo studio dell'AdBPo ha preso in considerazione questo evento di piena e ha tarato il modello idraulico per calcolare con una maggior accuratezza i livelli idrici. A partire dalla misura localizzata dei livelli e delle portate in certe stazioni è stata ricostruita la portata transitante nell'area esaminata in circa 170 m³/s, dunque un valore di circa 40 m³/s inferiore alla portata con tempo di ritorno duecentennale.

Gli allagamenti realmente osservatisi nell'area esaminata sono stati ricostruiti in base ai ricordi degli abitanti della zona, mediante i quali è stato possibile anche ricostruire la dinamica di allagamento, descritta nel capitolo successivo.

In particolare si è potuto constatare che la piena del 2002 ha prodotto moderate esondazioni nella zona sino a produrre livelli idrici al di fuori del Lambro attorno a quota 155.6 m s.l.m..

Tali esondazioni sono prevalentemente riconducibili a due distinti fenomeni:

1. tracimazione del Lambro oltre il muretto di Via Ghilini;
2. tracimazione del Lambro nella roggia a Nord di Via Mentana con conseguente incanalamento delle acque esondate in Via Mentana attraverso la roggia.

In particolare si è potuto constatare che per un certo numero di ore si è avuta la tracimazione del Lambro oltre il muretto spondale lungo Via Ghilini. Questo fatto è stato provocato verosimilmente da rialzi locali dovuti ad una modesta curvatura del Lambro in zona. La tracimazione non è avvenuta lungo tutto il muretto di Via Ghilini, ma solo in un breve tratto. Le esondazioni riportate dai locali sono riassunte dalla seguente cartografia, che si allinea abbastanza precisamente a quella riportata all'interno del P.G.T. e riportata in precedenza.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	38	73

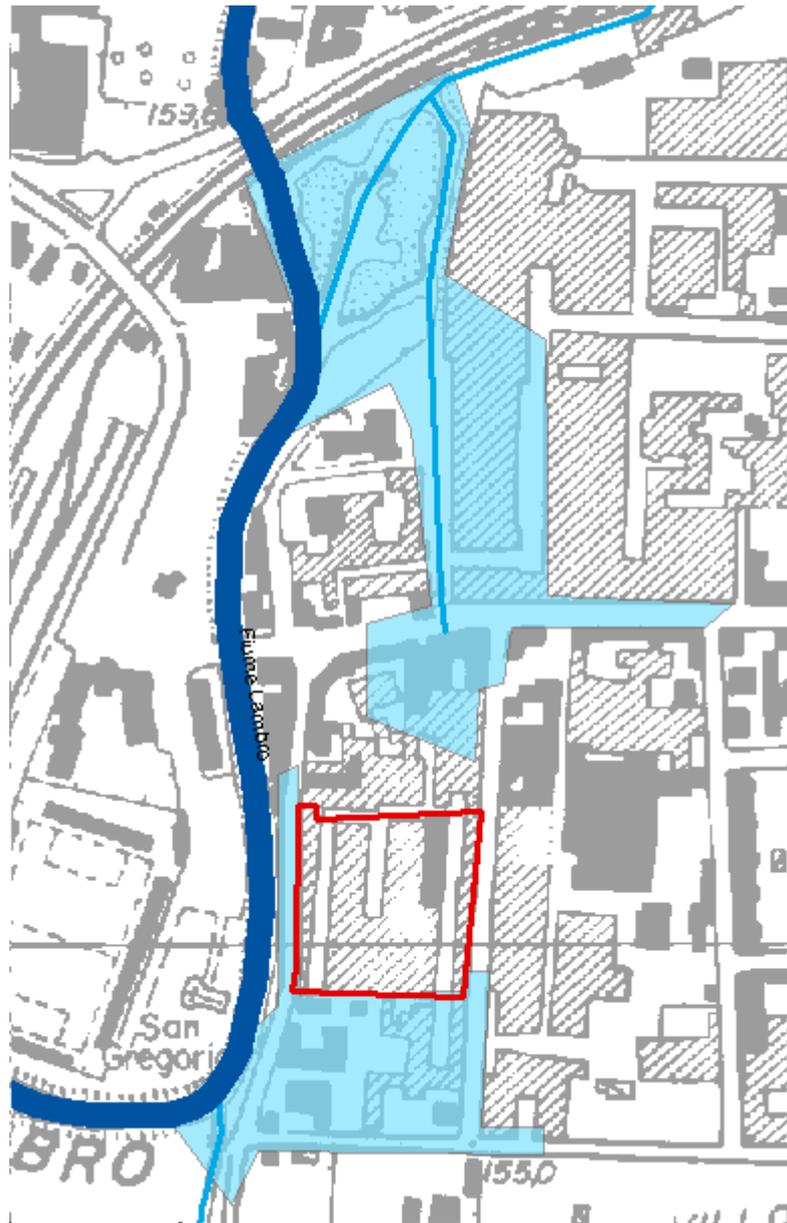


Figura 5.1 - Cartografia delle esondazioni avvenute nel Novembre 2002 ricostruita in base ai ricordi degli abitanti. In rosso l'area oggetto di intervento.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	39	73



6. DINAMICHE DI ALLAGAMENTO

In questo capitolo si descrive la dinamica di allagamento con la direzione dei deflussi ipotizzata che coinvolge l'area esaminata.

Gli allagamenti nell'area di interesse è verosimile che siano dovuti ad uno scorrimento da Nord verso Sud a partire dalla zona di confluenza del Lambretto, che presenta tiranti elevati. In tale zona è presente inoltre una derivazione sulla sponda sinistra del Lambro, ora non più attiva, ma che funge da via preferenziale di incanalamento delle acque oltre le sponde del Lambro. Tale roggia termina presso il comando della Polizia Locale in una tombinatura realizzata con una tubazione decisamente piccola (circa DN 300) rispetto all'alveo che caratterizza la roggia nel tratto a monte (base minore di circa 2 m, altezza di circa 1.5 m e pendenza sponde 1:1).



Figura 6.1 - Scaricatore della roggia a Nord di Via Mentana, alla confluenza del Lambretto nel Lambro.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	40	73



Figura 6.2 - Scaricatore della roggia a Nord di Via Mentana, alla confluenza del Lambretto nel Lambro. Si osserva il totale abbandono dell'opera. L'acqua di piena del Lambro potrebbe entrare tranquillamente da questo manufatto ed invadere il tratto seguente di roggia.

Dalla sezione LA 94.2 compresa sino al ponte sul Canale Villoresi (sezione LA 93.3) secondo l'AdBPo la sponda sinistra è in grado di contenere la piena. Occorre tuttavia evidenziare che presso la sezione LA 94.1 il profilo di piena calcolato dall'AdBPo con tempo di ritorno duecentennale raggiunge quota 156.03 m s.l.m., mentre il muretto che costituisce la sponda sinistra della sezione LA 94.1 è alto 156.12 m s.l.m.. Questa modesta differenza di quota, unita al fatto che vi possono essere locali abbassamenti del muretto e la presenza di una modesta curvatura del Lambro, rende probabile che parte dell'acqua esondi anche da questo tratto. Oltretutto, come riportato nel successivo capitolo, anche il modello idraulico a moto permanente ricostruito nell'ambito di questo studio sembra indicare tiranti idrici leggermente maggiori di quelli calcolati dall'AdBPo.

Questo fatto sembra anche confermato dalla constatazione che nel 2002, con un evento di piena meno critico di quello con tempo di ritorno duecentennale, il Lambro è tracimato oltre il muretto causando moderati allagamenti in Via Ghilini.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	41	73



Figura 6.3 - Il muretto lungo Via Ghilini. Si nota sulla sponda destra la scogliera in fase di realizzazione.

Inoltre la presenza di una roggia (Roggia Lupa) derivata in sponda sinistra del Lambro, con un locale abbassamento del muretto, funge da varco per il passaggio dell'acqua, come si vede nelle successive fotografie.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	42	73

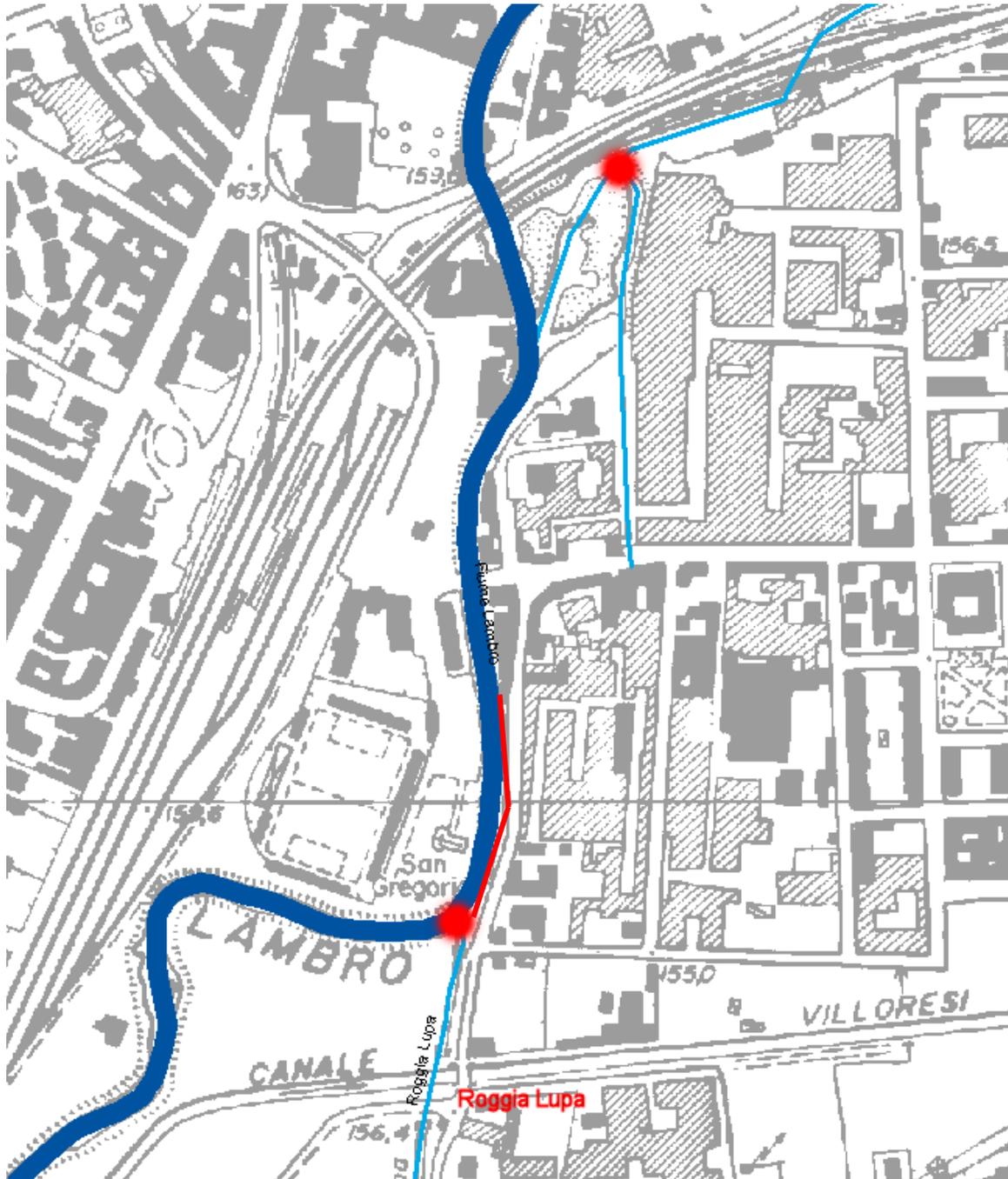


Figura 6.4 - Identificazione delle due derivazioni dal Lambro che potrebbero fungere da varchi per il passaggio delle piene. Con linea continua il tratto di muretto spondale di Via Ghilini oltre il quale potrebbe avvenire la tracimazione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	43	73



Figura 6.5 - L'imbocco della Roggia Lupa, derivata dal Lambro. Si nota il locale abbassamento del muretto di Via Ghilini.

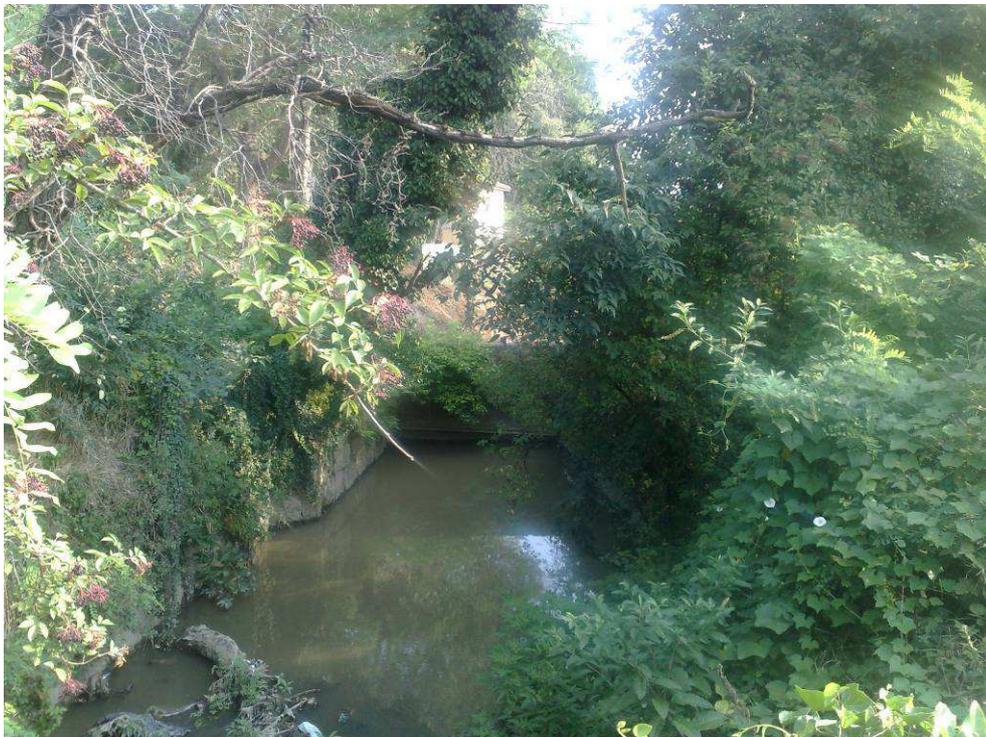


Figura 6.6 - Il primo tratto della Roggia Lupa.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	44	73



Figura 6.7 - L'imbocco della Roggia Lupa derivata dal Lambro.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	45	73

Azienda con Sistema Gestione Qualità ISO 9001:2000 certificato da ICMQ
Company with Quality Management System ISO 9001:2000 certified by ICMQ

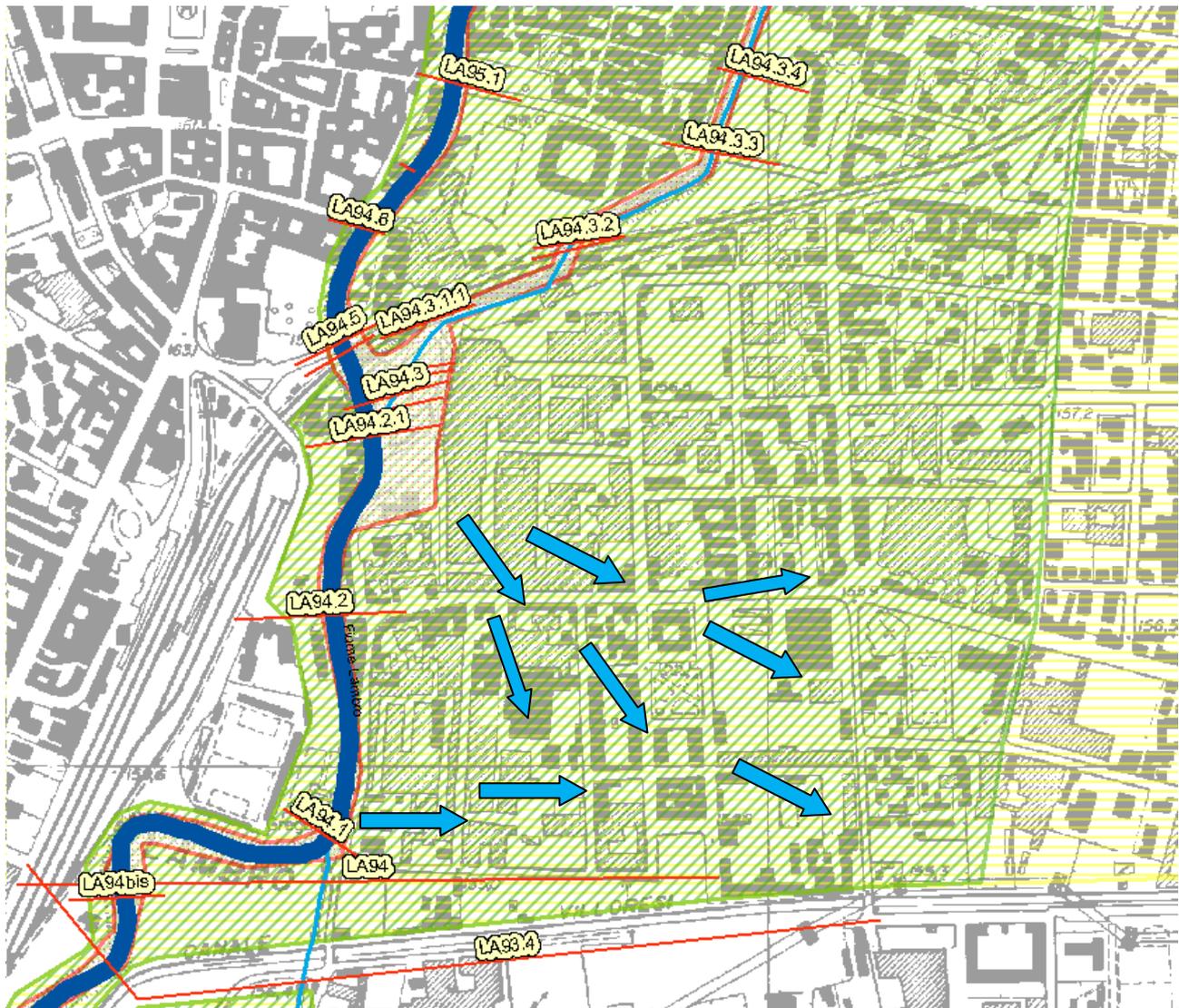


Figura 6.8 - Schema della direzione dei deflussi nella fase di esondazione. In rosso le aree allagate per un evento con tempo di ritorno di 10 anni, in verde per 200 anni e in giallo per 500 anni. In rosso le sezioni AdBPo.

È verosimile credere inoltre che la zona presso la sezione LA 94.1, oltre che funzionare da sfioratore verso la città di Monza, dopo un certo lasso di tempo funzioni nel senso opposto come sfioratore verso il Lambro, se le quote del livello idrico all'interno della città raggiungono livelli maggiori di quelli presenti nel Lambro. Infatti il recapito terminale della zona allagata a Sud della linea ferroviaria Milano – Sondrio è posizionato nella stessa zona da cui provengono gli allagamenti. La situazione dunque in fase di decrescita del picco di piena è speculare rispetto a

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	46	73



quanto visto prima e la direzione dei deflussi è quella rappresentata nella figura sottostante. In questo caso la zona presso la sezione LA 94.1 smette di funzionare da sfioratore verso il Lambro in quanto il livello idrico viene a scendere sotto la quota del muretto che delimita il Lambro.

Si sottolinea inoltre che parte della zona posta più ad Est non riesce a scaricare verso il Lambro perché di fatto presenta quote più basse rispetto alle sponde del Lambro, essendo posta in una depressione. L'acqua quindi verrà portata via tramite infiltrazione nel sottosuolo o tramite le caditoie stradali. Parte dell'acqua potrà invece sfruttare un varco costituito da una roggia lungo Via Timavo che sottopassa il Villoresi. Si evidenzia tuttavia che tale canale al momento si presenta parzialmente ostruito e dunque garantisce un deflusso solo marginale.

In parte invece gli allagamenti presenti nella parte orientale analizzata potenzialmente potranno defluire attraverso il varco di Via Michelangelo, sotto cui il Villoresi passa con sifone. Questo punto presenta quote basse, così come i territori a Sud del Villoresi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	47	73

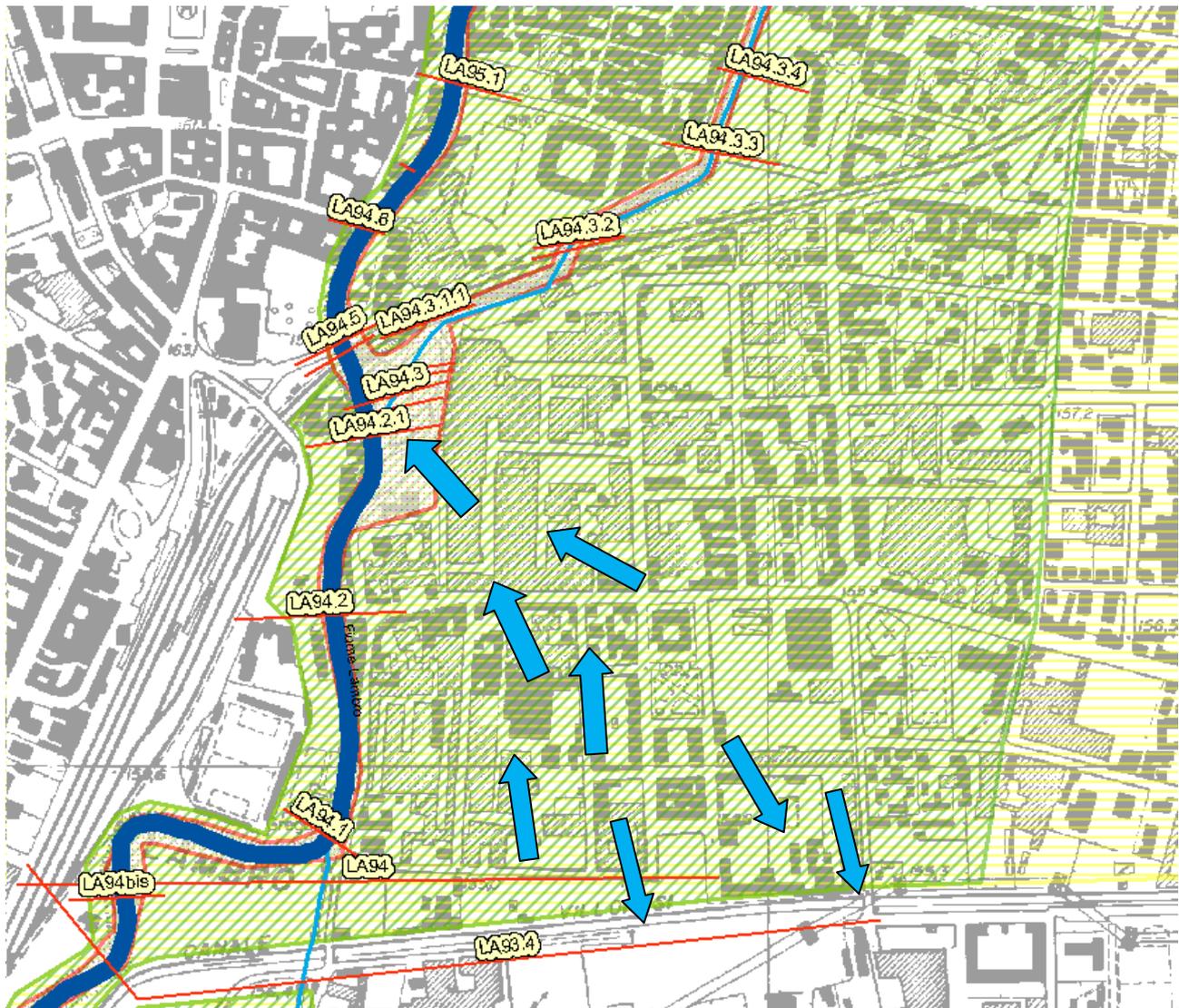


Figura 6.9 - Schema della direzione dei deflussi nella fase di ritiro della piena. In rosso le aree allagate per un evento con tempo di ritorno di 10 anni, in verde per 200 anni e in giallo per 500 anni. In rosso le sezioni AdbPo.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	48	73

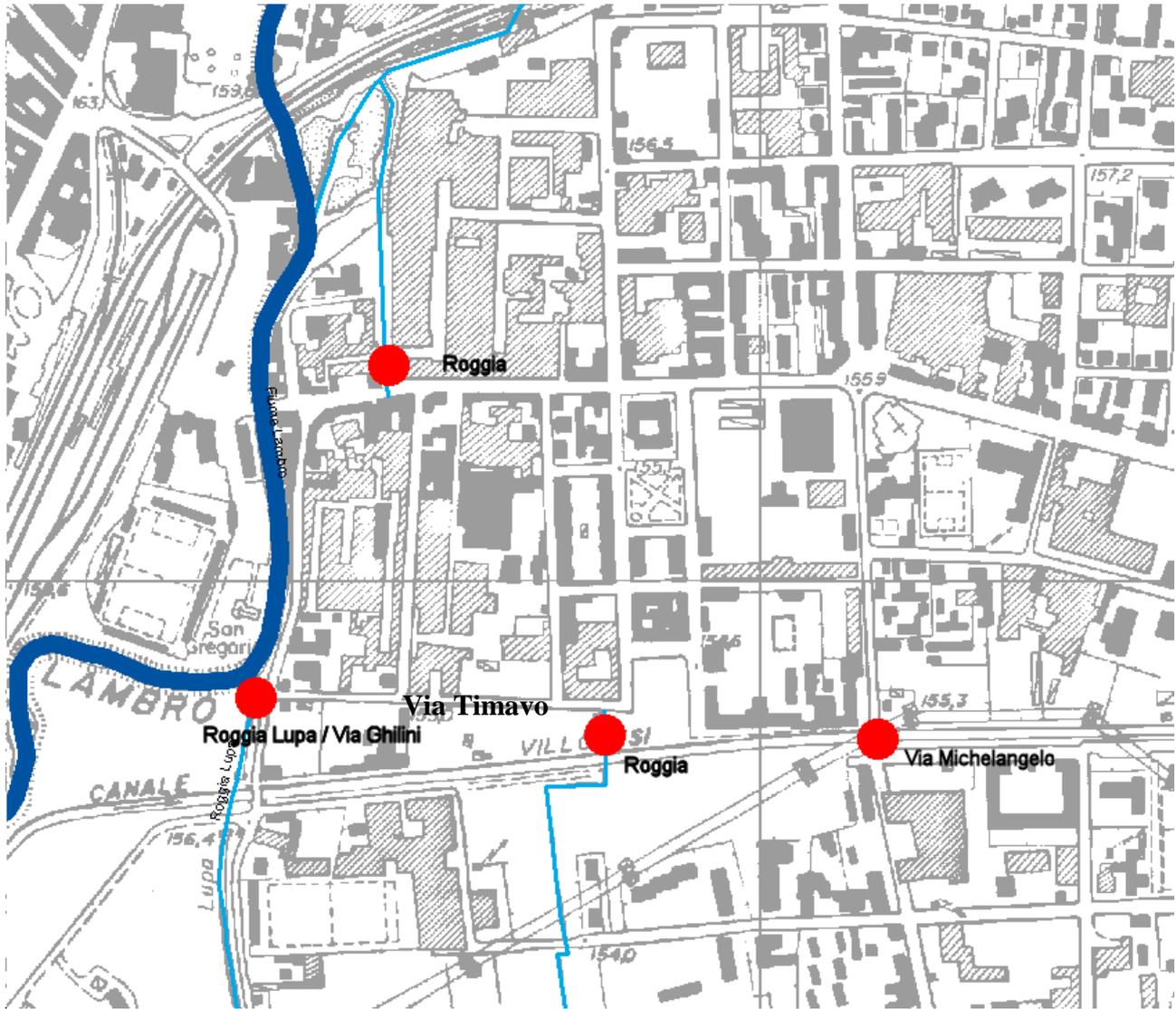


Figura 6.10 - I recapiti delle acque di allagamento dell'area esaminata nel territorio di Monza in fase di ritiro della piena.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	49	73



7. MODELLO IDRAULICO A MOTO PERMANENTE

A partire dalla geometrizzazione del Fiume Lambro ricavata dall'AdBPo mediante il rilievo di sezioni topografiche lungo l'alveo, si è ricostruito il modello del fiume.

Lo studio è stato affrontato con l'ausilio di un noto modello di calcolo idraulico monodimensionale (HEC-RAS) dalla consolidata affidabilità, ampiamente utilizzato in campo internazionale e nazionale per la simulazione in moto permanente e vario dei fenomeni di piena.

Si è scelto in questa fase del lavoro di operare a moto permanente, caratterizzato dunque da valori di portata corrispondenti al colmo della piena.

Il tratto del Fiume Lambro modellato parte dalla confluenza del Lambretto nel Lambro sino a poco oltre l'attraversamento del Canale Adduttore Principale Villorosi. Il tratto simulato presenta uno sviluppo di 1157 m.

7.1 Geometrizzazione dell'alveo

Nel modello idraulico sono state inserite le seguenti sezioni topografiche estratte dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona". Oltre a tali sezioni sono state inserite altre sezioni fittizie non rilevate direttamente dall'AdBPo, ma che servivano per la costruzione del modello. Ad esempio si è curato di inserire una sezione a monte e una a valle di ogni attraversamento.

Le sezioni sono state infine interpolate con passo di 5 m, in maniera tale da ricostruire con più precisione eventuali cambi di livello. Si evidenzia che l'interpolazione è stata curata in maniera manuale al fine di evitare grossolani errori.

Il nome delle sezioni è stato modificato rispetto a quello contenuto nello studio del P.A.I. in quanto nel modello non è possibile inserire la denominazione dell'AdBPo.

Nella seguente tabella si riportano le sezioni dell'AdBPo utilizzate procedendo da monte verso valle e il corrispettivo nome all'interno del modello di HEC-RAS.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	50	73



nome sezione P.A.I.	nome sezione modello HEC-RAS
LA 94.3	-1
LA 94.3 bis	-2
LA 94.2.1	-3
LA 94.2	-4
LA 94.1	-5
LA 94	-6
LA 94 bis	-7
LA 93.4	-8
LA 93.3	-9

Tab. 7.1.I - Sezioni del P.A.I. inserite nel modello di HEC-RAS e corrispondente nome della sezione nel modello di HEC-RAS.

Sulle varie sezioni si è proceduto con l'individuazione dei Levee utili per delimitare le sponde del fiume e del canale principale per differenziare le scabrezze.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	51	73

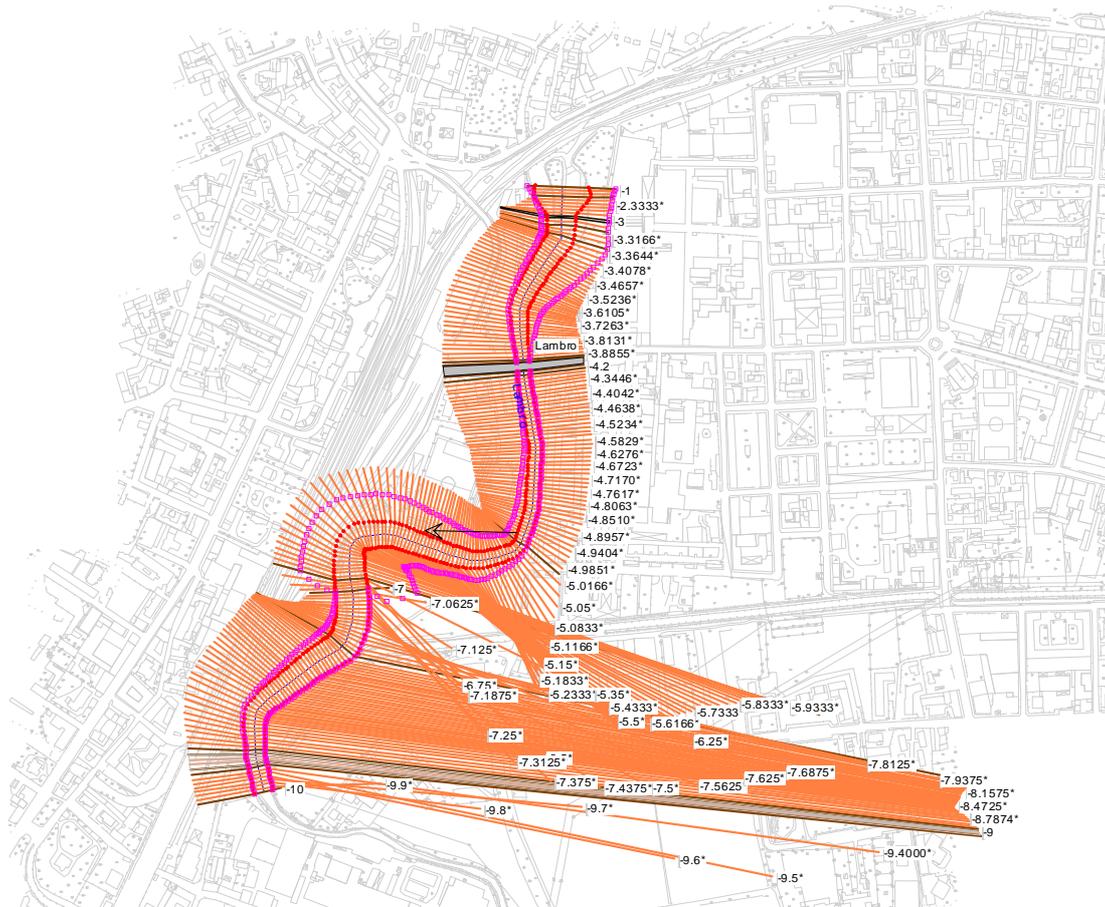


Figura 7.1.1 - Il modello sviluppato in HEC-RAS.

7.2 Portate utilizzate e condizioni al contorno

Si è proceduto poi all'inserimento delle portate utilizzate per l'analisi a moto permanente.

Queste sono riassunte nella seguente tabella e sono derivate dai dati dell'AdBPO. Si evidenzia che, a favore di sicurezza, tali portate sono state prese per la sezione a valle dell'area di interesse, che presentava portate leggermente superiori rispetto a quelle presenti nella parte iniziale del modello idraulico.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	52	73



portata [m ³ /s]	descrizione
213	tempo di ritorno 200 anni
235.2	tempo di ritorno 500 anni
170	evento di piena Novembre 2002

Tab. 7.2.I - Portate utilizzate nel modello di HEC-RAS.

Come condizioni al contorno, utilizzando una simulazione mista, comprensiva dunque di correnti lente e veloci, si è inserita a monte l'altezza critica, essendo presenti due traverse sia sul Lambro che sul Lambretto. A valle invece è stata inserita come condizione al contorno l'altezza di moto uniforme caratterizzata da pendenza pari a quella media dell'alveo nel tratto in esame (2.4%). Si è poi valutato se l'inserimento di un'altezza idrica nota, come quella ricavata dal profilo dell'AdBPo, potesse cambiare sostanzialmente il modello, ma si è verificato che l'influenza di una condizione al contorno differente, provoca modesti cambiamenti solo nel tratto terminale del modello, che peraltro non riguarda l'area oggetto del presente studio.

7.3 Ponti

Nel tratto esaminato sono presenti 3 attraversamenti, procedendo da monte verso valle:

1. Passerella pedonale per il raggiungimento dell'oasi di Legambiente,
2. Ponte di Via Mentana,
3. Ponte del Canale Adduttore Principale Villorresi.

Tali ponti sono stati inseriti a partire dalle sezioni di rilievo svolte dall'AdBPo.

In particolare i primi due ponti sono stati inseriti con l'opzione Deck e per la passerella pedonale è stata inserita anche una pila. Per il ponte del Villorresi, essendo l'attraversamento più complesso, si è ritenuto opportuno utilizzare il Lid.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	53	73

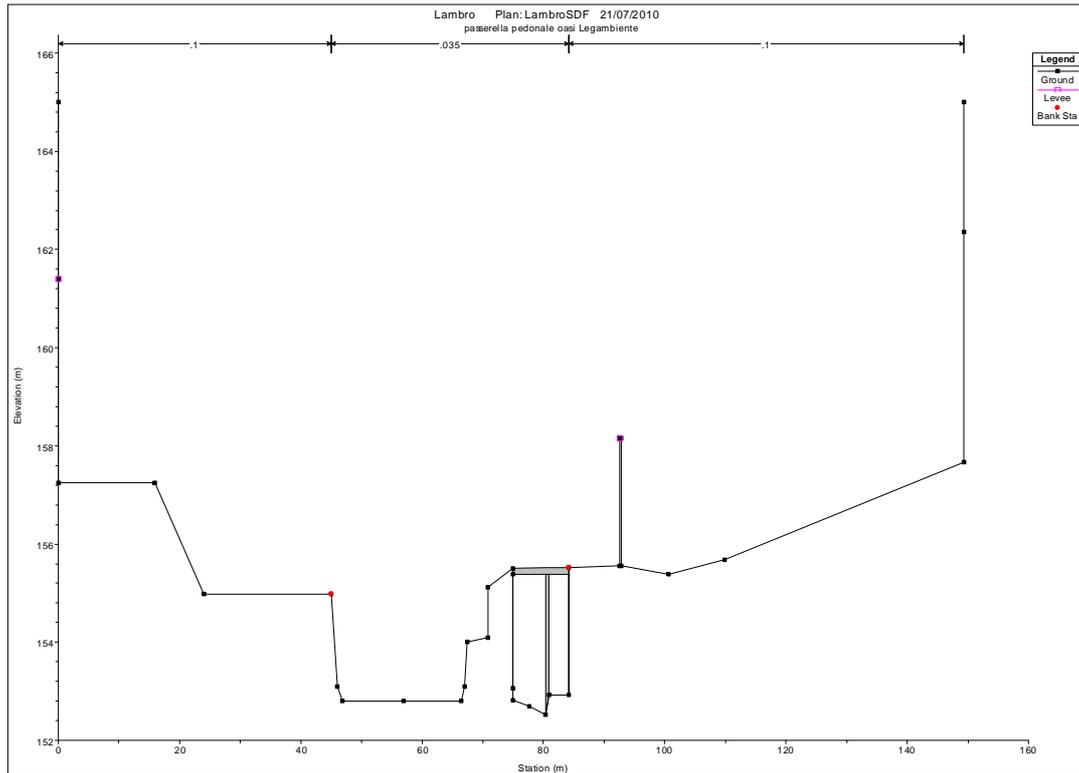


Figura 7.3.1 - La sezione presso la passerella pedonale.

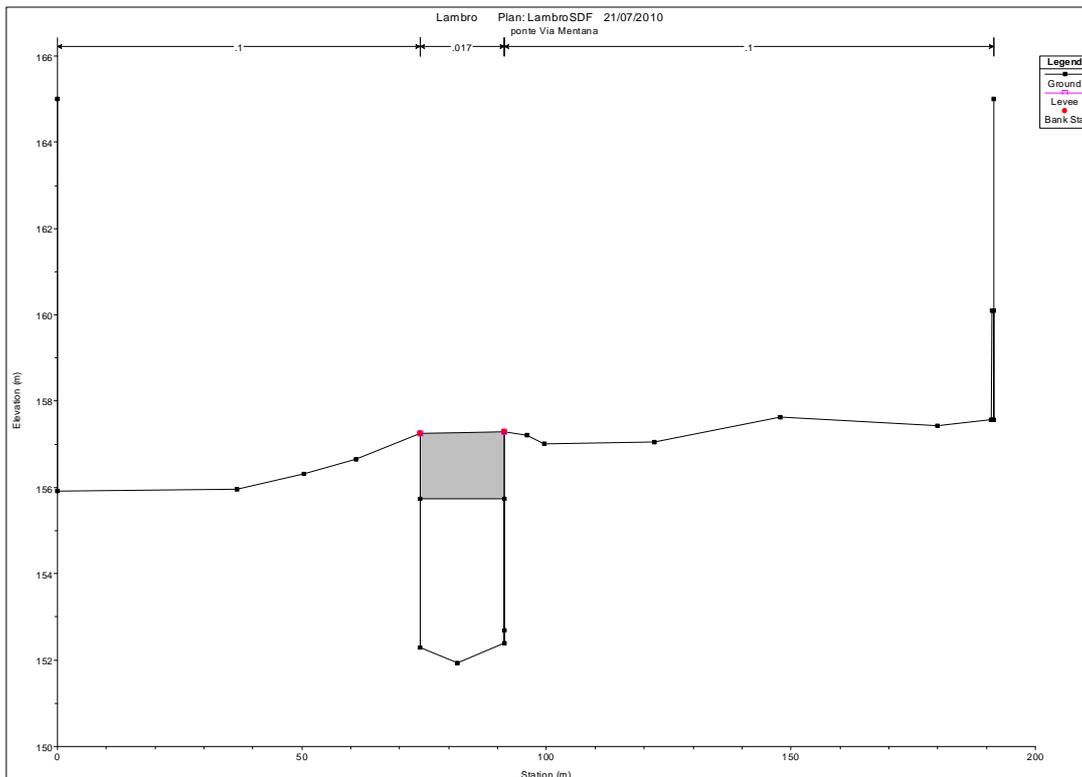


Figura 7.3.2 - Il ponte di Via Mentana.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	54	73



Figura 7.3.3 - Il ponte di Via Mentana visto da Via Ghilini, cioè da valle.

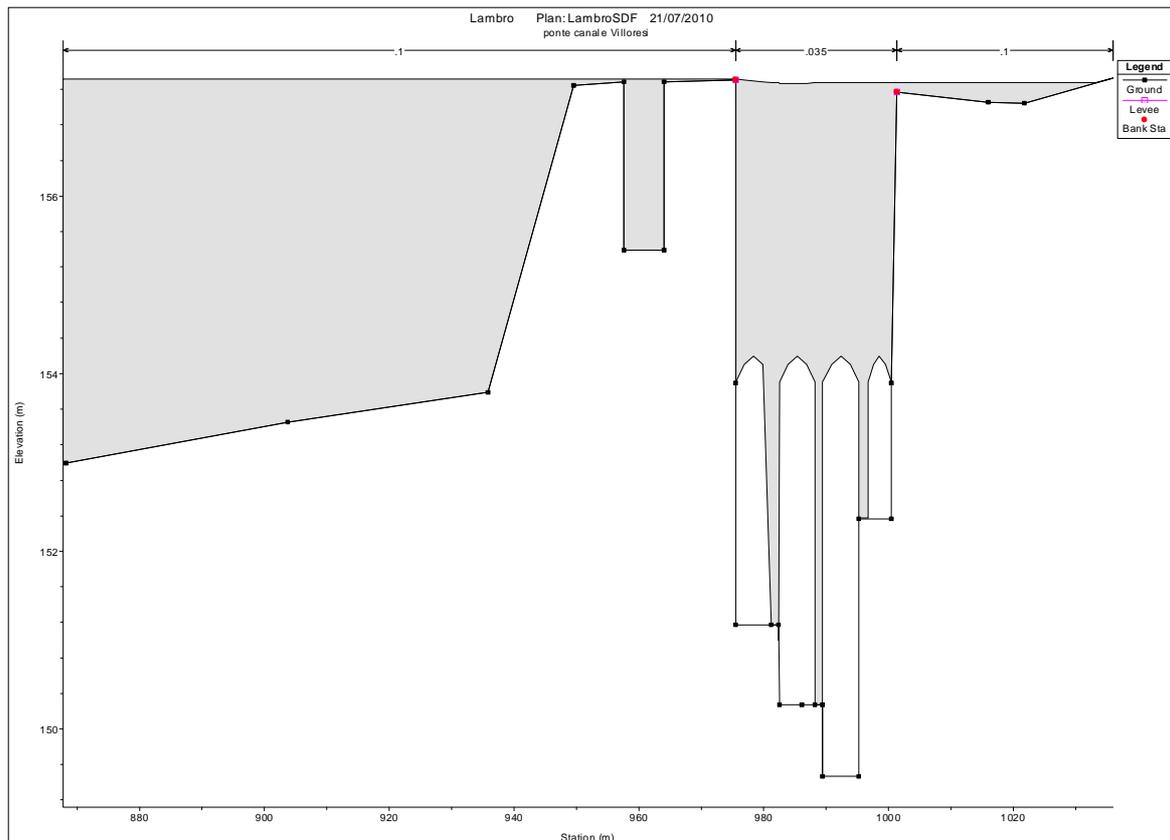


Figura 7.3.4 - Il ponte del Canale Villoresi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	55	73



La simulazione dei ponti è stata sviluppata sia con lo standard step method, che con il bilancio delle spinte e l'equazione di Yarnell. Tra queste è stata scelta la più cautelativa.

7.4 Scabrezze e coefficienti di perdite concentrate

Le scabrezze sono state inserite tramite il coefficiente di Manning, dividendo il comportamento per il canale principale e le golene, caratterizzate da una scabrezza generalmente maggiore a causa della presenza di vegetazione, ostacoli etc..

Nel caso esaminato l'alveo presenta caratteristiche abbastanza omogenee in tutto il tratto, tranne che appena a monte di Via Mentana, dove la sponda destra è realizzata con muro in c.a. e dove dunque è parso opportuno inserire coefficienti di scabrezza inferiori.

Per le aree di golena si è inserita come scabrezza un coefficiente di Manning di 0.10 s/m^{1/3}, mentre per il canale principale 0.035 s/m^{1/3}, eccetto che per il tratto appena a monte di Via Mentana dove la scabrezza è stata valutata in 0.017 s/m^{1/3}.

Lungo l'alveo nel tratto analizzato non sono presenti importanti discontinuità tali da provocare significative perdite di carico, dunque per i coefficienti di contrazione e espansione sono stati lasciati i valori di default di 0.1 e 0.3. Solo per il ponte del Villorresi è parso più cautelativo usare coefficienti maggiori, cioè 0.3 e 0.5 in quanto il ponte a quattro arcate presenta una variazione non trascurabile dell'alveo.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	56	73



Figura 7.4.1 - Scabrezze ridotte nel tratto a monte del ponte di Via Mentana per la presenza di una sponda in c.a..

7.5 Risultati

Il profilo di piena simulato per le tre portate è riportato nella successiva immagine. Come si vede il Fiume Lambro è generalmente contenuto all'interno delle sponde. Solamente nel tratto presso Via Ghilini, cioè a monte della sezione del P.A.I. 94.1 la sponda sinistra si presenta insufficiente a garantire il transito della portata duecentennale e cinquecentennale. La simulazione dell'evento di piena del 2002 presenta invece un livello idrico comparabile a quello della sponda, fatto che sembra in accordo con le testimonianze raccolte che riportano la tracimazione localizzata del Lambro in corrispondenza dell'imbocco della roggia Lupa. In realtà vi sono altri allagamenti a monte nei pressi della confluenza con il Lambretto causati dalla presenza della roggia, che non viene riportata nel modello idraulico.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	57	73

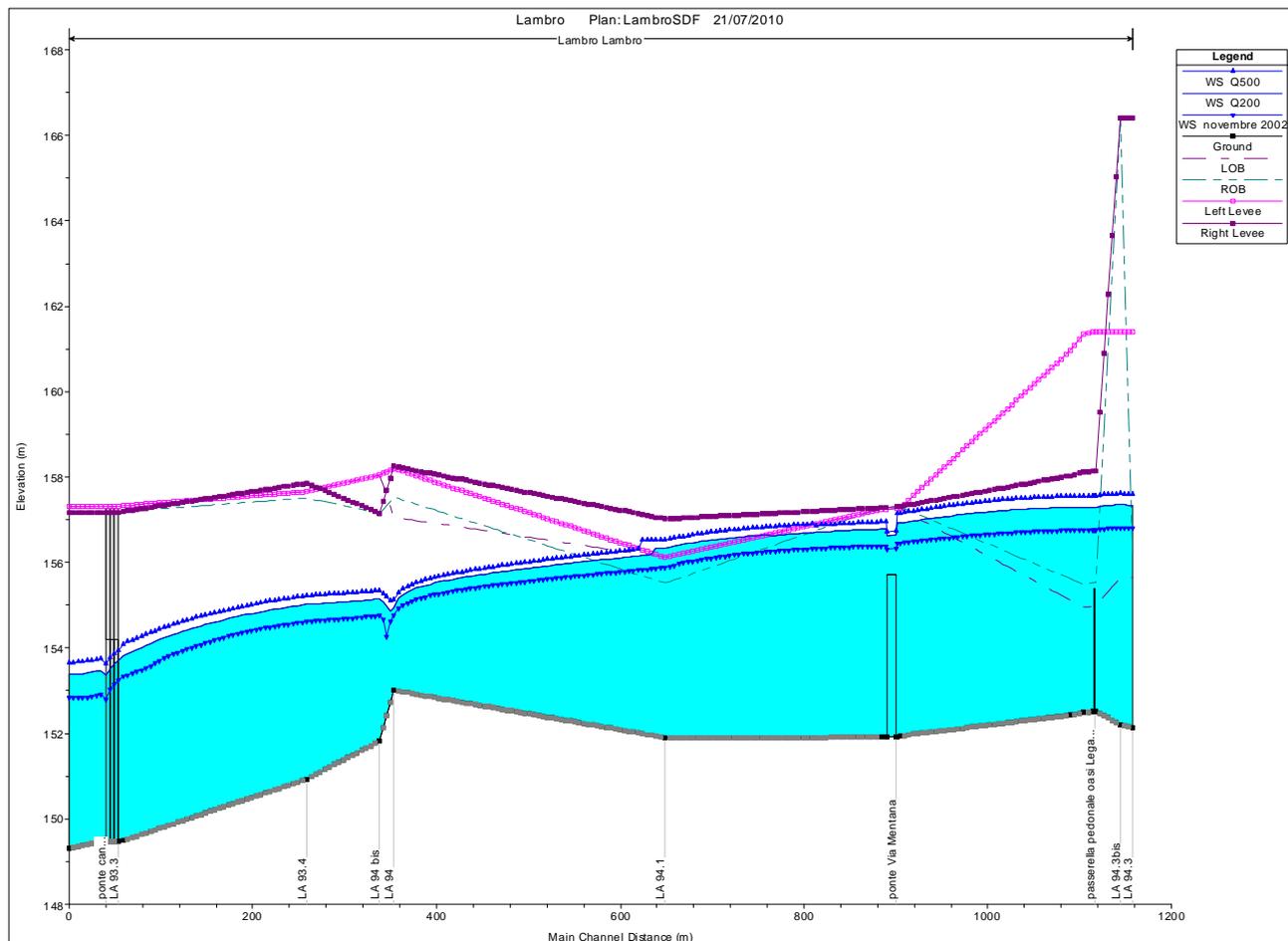


Figura 7.5.1 - Profilo idrico del Fiume Lambro per le tre simulazioni svolte.

Per quanto riguarda il profilo si può notare come il ponte del Villoresi non funzioni in pressione, al contrario di quello di Via Mentana. La passerella viene invece tracimata.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	58	73

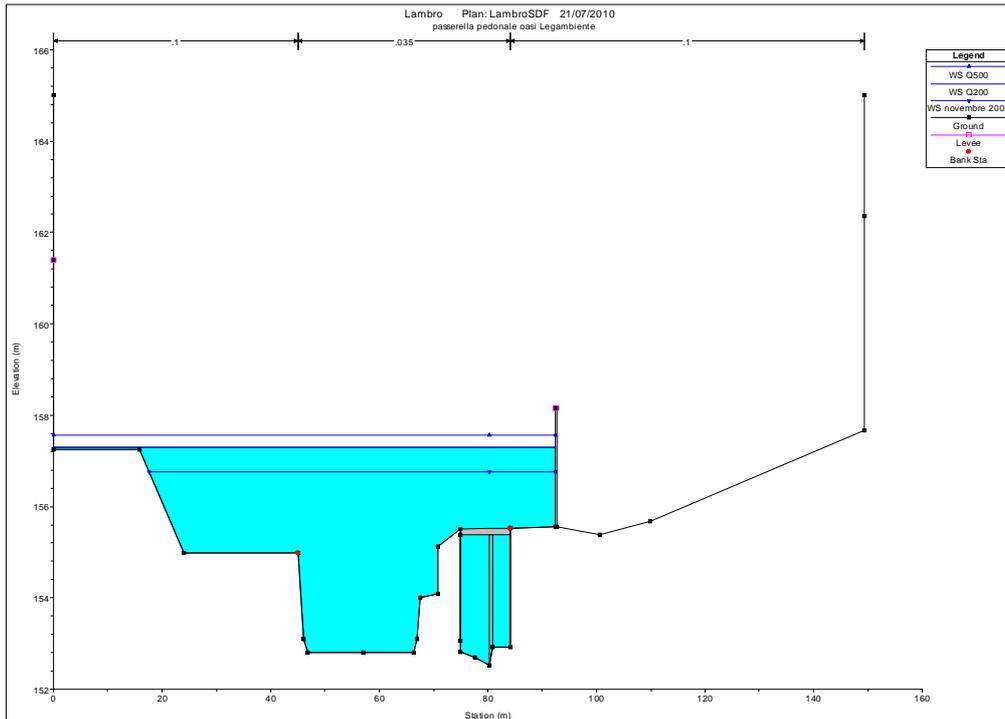


Figura 7.5.2 - La passerella per l'oasi di Lega Ambiente. Si noti come il flusso sia interrotto dal portone sulla destra che è in grado di contenere la piena, cosa peraltro confermata dal proprietario per l'evento del 2002.

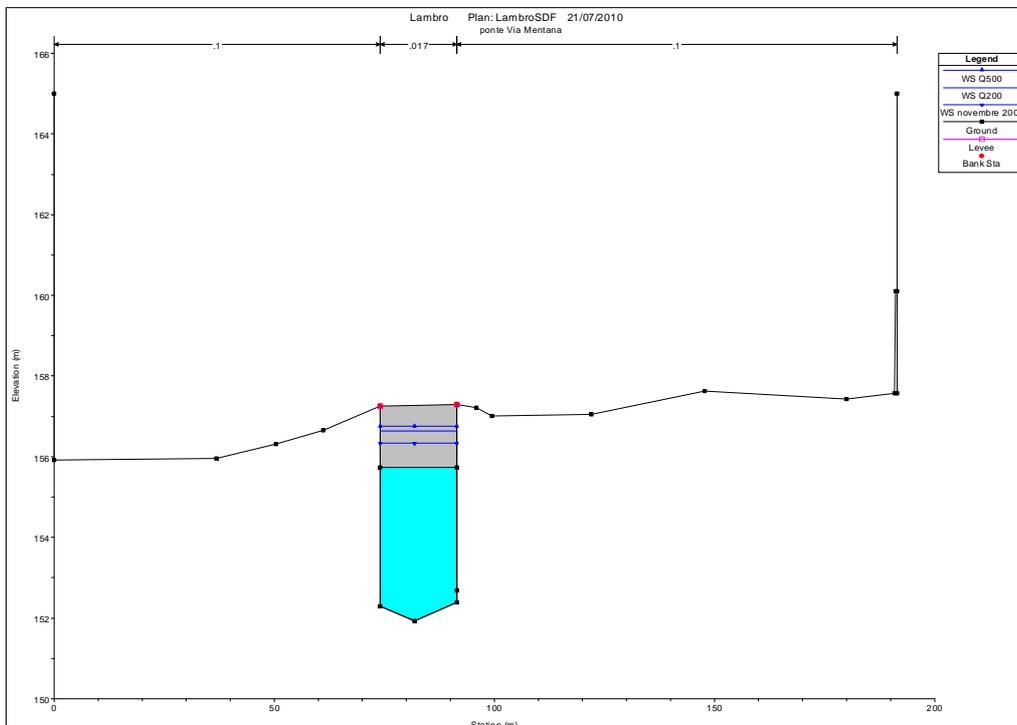


Figura 7.5.3 - Il ponte di Via Mentana.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	59	73

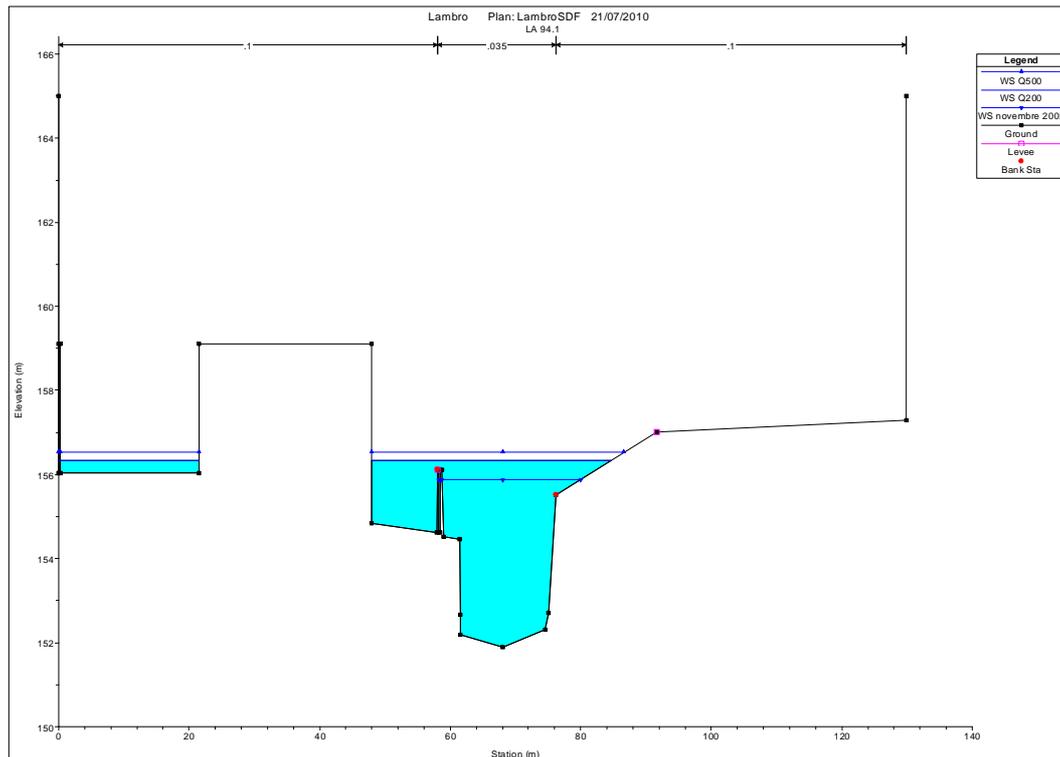


Figura 7.5.4 - La sezione preso Via Ghilini. Si nota il muretto che non è in grado di trattenere la portata con tempo di ritorno duecentennale e cinquecentennale.

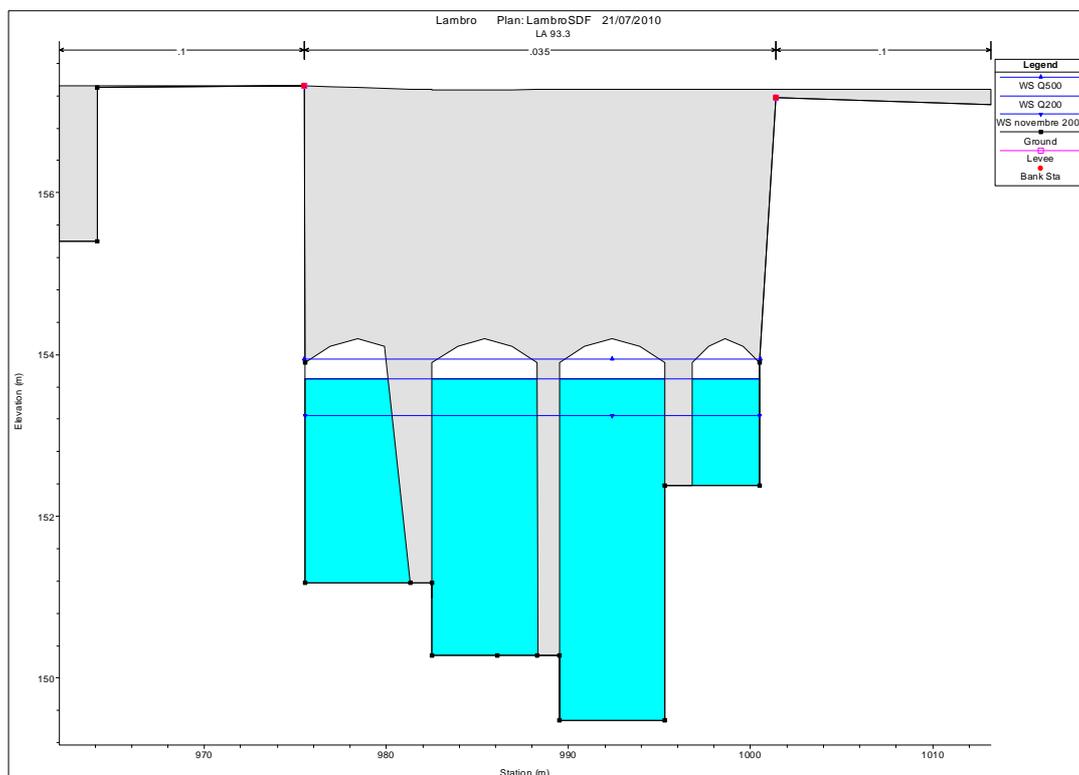


Figura 7.5.5 - La sezione del ponte del Villorresi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	60	73



Nella successiva immagine si riporta il confronto tra il profilo calcolato con la simulazione di HEC-RAS e quello calcolato dall'AdBPo. Come si vede, il modello dell'AdBPo tende a evidenziare livelli idrici maggiori in corrispondenza del ponte del Villorresi, che va in pressione, provocando dunque un rigurgito a monte, la cui influenza è comunque limitata sino alla traversa, ove i tiranti qui ricostruiti sono molto simili a quelli stimati dall'AdBPo.

Presso Via Ghilini il modello qui sviluppato riporta livelli idrici leggermente maggiori che causano l'esonazione dal muretto di Via Ghilini.

Andando verso monte si osservano marcate differenze alla confluenza con il Lambretto, dove il modello qui sviluppato riporta livelli idrici molto inferiori rispetto a quello dell'AdBPo. I livelli idrici qui stimati tuttavia sembrano essere in buon accordo con i ricordi delle persone direttamente interessate dall'evento di piena del 2002.

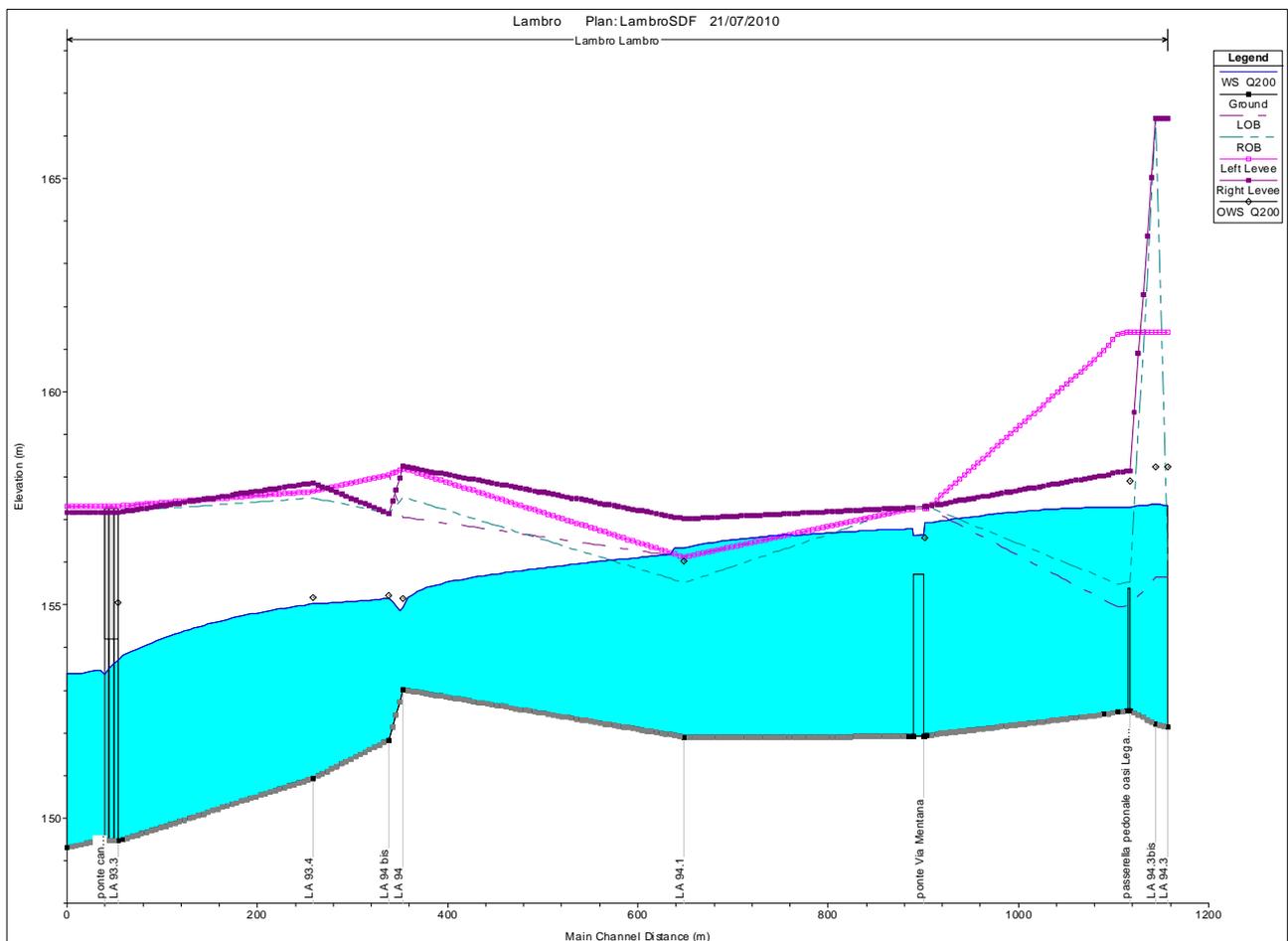


Figura 7.5.6 - Confronto tra i livelli idrici simulati da HEC-RAS per un tempo di ritorno di 200 anni con colore azzurro e quella del modello dell'AdBPo con punti grigi.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	61	73



Da ultimo si segnala la buona aderenza tra il modello sviluppato all'interno di questo studio e quello sviluppato nel P.G.T. di Monza nel primo tratto. Oltre la sezione LA 94.1 invece il modello presentato in questo studio mostra livelli di piena leggermente più alti rispetto a quelli sviluppati nell'ambito della simulazione per il P.G.T. di Monza, tanto che quest'ultimo non fa esondare il Lambro dalla sezione presso Via Ghilini.

Infine i risultati del modello semplificato qui sviluppato sono in buon accordo con i risultati ottenuti con il modello (ben più raffinato) sviluppato dallo Studio Pacheco.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	62	73



8. BIBLIOGRAFIA

- Autorità di Bacino del Fiume Po. “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona”.
- Autorità di Bacino del Fiume Po. Piano stralcio per l’Assetto Idrogeologico (P.A.I.) - <http://www.adbpo.it/on-multi/ADBPO/Home/Pianificazione/Pianistralcioapprovati/PianostralcioperlAssettoIdrogeologicoPAI.html>
- Comune di Monza, 2004. Relazione idraulica allegata alla Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio.
- Regione Lombardia. Sistema Informativo Territoriale e base cartografica georeferenziata. <http://www.cartografia.regione.lombardia.it/geoportale>
- Studio Pacheco – Determinazione del rischio idraulico, fiume Lambro a Monza - <http://www.studiopacheco.it/index.php/it/modellistica-idraulica-fluidodinamica/92-lambro-a-monza-2008>
- Studio Pacheco – Mitigazione degli effetti delle piene, fiume Lambro a Monza - <http://www.studiopacheco.it/index.php/it/modellistica-idraulica-fluidodinamica/101-mitigazione-lambro-a-monza>

GARASSINO S.r.l.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	63	73



APPENDICE A - TABELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Contenuto dell'appendice A sono le tabelle di simulazioni idrauliche che riassumono, per ogni sezione del modello idraulico, i valori delle grandezze di riferimento.

Ogni tabella segue il medesimo schema ed è composta, da sinistra verso destra dalle seguenti colonne:

- Reach:** colonna che riporta il nome del tratto di fiume / torrente oggetto d'analisi.
- River station:** indica la sezione alla quale fanno riferimento le grandezze idrauliche e geometriche sulla medesima riga.
- Q total:** riporta il valore della portata [m^3/s] al colmo di piena.
- Min Ch El:** rappresenta la quota di fondo [m s.l.m.] della sezione in esame.
- W.S. El:** rappresenta la quota [m s.l.m.] del profilo di moto permanente nella sezione in esame.
- Vel Chl:** rappresenta la velocità di deflusso [m/s] nell'alveo inciso per la sezione corrispondente.
- Froude:** riporta il valore del numero di Froude. (si ricorda che per valori inferiori a 1 si ha deflusso in corrente lenta, per valori maggiori di deflusso in corrente veloce).
- Levee El. Left:** riporta il valore dell'altezza [m] della sponda sinistra della sezione.
- Levee El. Right:** riporta il valore dell'altezza [m] della sponda destra della sezione.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	64	73



Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl	Levee El Left	Levee El Right
Lambro	-1	213	152.13	157.34	0.87	0.15	161.4	166.4
Lambro	-2	213	152.2	157.35	0.67	0.11	161.4	166.4
Lambro	-3	213	152.52	157.29	1.22	0.19	161.4	158.15
Lambro	-3.1	Bridge						
Lambro	-3.2	213	152.51	157.29	1.22	0.19	161.39	158.14
Lambro	-3.3	213	152.48	157.29	1.21	0.19	161.36	158.11
Lambro	-3.35	213	152.43	157.29	1.12	0.16	160.96	158.03
Lambro	-3.9	213	151.94	156.93	2.58	0.38	157.27	157.31
Lambro	-4	213	151.93	156.93	2.57	0.38	157.26	157.3
Lambro	-4.1	Bridge						
Lambro	-4.2	213	151.92	156.78	2.65	0.39	157.25	157.29
Lambro	-4.3	213	151.91	156.78	2.64	0.39	157.24	157.28
Lambro	-5	213	151.9	156.34	3.03	0.51	156.12	157.02
Lambro	-6	213	153.01	154.93	3.83	0.96	158.2	158.25
Lambro	-7	213	151.83	155.15	2.33	0.47	158.05	157.15
Lambro	-8	213	150.93	155.02	2.14	0.42	157.66	157.86
Lambro	-8.9	213	149.49	153.82	3.22	0.58	157.33	157.19
Lambro	-9	213	149.48	153.7	3.42	0.53	157.32	157.18
Lambro	-9.2	213	149.47	153.36	3.82	0.62	157.31	157.17
Lambro	-9.3	213	149.46	153.47	3	0.57	157.3	157.16
Lambro	-10	213	149.3	153.4	2.82	0.46	157.32	157.18

Tab. A.I - Simulazione nello stato di fatto per un tempo di ritorno di 200 anni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	65	73



Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl	Levee El Left	Levee El Right
Lambro	-1	235.2	152.13	157.6	0.88	0.15	161.4	166.4
Lambro	-2	235.2	152.2	157.61	0.69	0.11	161.4	166.4
Lambro	-3	235.2	152.52	157.55	1.25	0.19	161.4	158.15
Lambro	-3.1	Bridge						
Lambro	-3.2	235.2	152.51	157.55	1.25	0.19	161.39	158.14
Lambro	-3.3	235.2	152.48	157.55	1.24	0.19	161.36	158.11
Lambro	-3.35	235.2	152.43	157.55	1.16	0.16	160.96	158.03
Lambro	-3.9	235.2	151.94	157.14	2.72	0.39	157.27	157.31
Lambro	-4	235.2	151.93	157.14	2.72	0.39	157.26	157.3
Lambro	-4.1	Bridge						
Lambro	-4.2	235.2	151.92	156.95	2.82	0.41	157.25	157.29
Lambro	-4.3	235.2	151.91	156.95	2.82	0.41	157.24	157.28
Lambro	-5	235.2	151.9	156.53	3.14	0.51	156.12	157.02
Lambro	-6	235.2	153.01	155.13	3.77	0.9	158.2	158.25
Lambro	-7	235.2	151.83	155.34	2.38	0.47	158.05	157.15
Lambro	-8	235.2	150.93	155.22	2.2	0.42	157.66	157.86
Lambro	-8.9	235.2	149.49	154.09	3.24	0.61	157.33	157.19
Lambro	-9	235.2	149.48	153.95	3.5	0.53	157.32	157.18
Lambro	-9.2	235.2	149.47	153.63	3.85	0.6	157.31	157.17
Lambro	-9.3	235.2	149.46	153.75	3.02	0.55	157.3	157.16
Lambro	-10	235.2	149.3	153.66	2.91	0.46	157.32	157.18

Tab. A.II - Simulazione nello stato di fatto per un tempo di ritorno di 500 anni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	66	73



Reach	River Sta	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Vel Chnl	Froude # Chl	Levee El Left	Levee El Right
Lambro	-1	170	152.13	156.8	0.85	0.17	161.4	166.4
Lambro	-2	170	152.2	156.81	0.62	0.11	161.4	166.4
Lambro	-3	170	152.52	156.77	1.13	0.19	161.4	158.15
Lambro	-3.1	Bridge						
Lambro	-3.2	170	152.51	156.76	1.12	0.19	161.39	158.14
Lambro	-3.3	170	152.48	156.76	1.11	0.19	161.36	158.11
Lambro	-3.35	170	152.43	156.76	1.01	0.16	160.96	158.03
Lambro	-3.9	170	151.94	156.47	2.28	0.35	157.27	157.31
Lambro	-4	170	151.93	156.47	2.27	0.35	157.26	157.3
Lambro	-4.1	Bridge						
Lambro	-4.2	170	151.92	156.4	2.3	0.36	157.25	157.29
Lambro	-4.3	170	151.91	156.4	2.3	0.36	157.24	157.28
Lambro	-5	170	151.9	155.89	2.95	0.52	156.12	157.02
Lambro	-6	170	153.01	154.77	3.4	0.9	158.2	158.25
Lambro	-7	170	151.83	154.77	2.19	0.47	158.05	157.15
Lambro	-8	170	150.93	154.63	2	0.42	157.66	157.86
Lambro	-8.9	170	149.49	153.34	3.03	0.59	157.33	157.19
Lambro	-9	170	149.48	153.25	3.2	0.53	157.32	157.18
Lambro	-9.2	170	149.47	152.81	3.82	0.67	157.31	157.17
Lambro	-9.3	170	149.46	152.91	2.99	0.63	157.3	157.16
Lambro	-10	170	149.3	152.86	2.62	0.46	157.32	157.18

Tab. A.III - Simulazione nello stato di fatto per l'evento di Novembre 2002.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	67	73



APPENDICE B - CODICE DI CALCOLO HEC – RAS

Il software utilizzato nel presente studio è HEC-RAS 4.0.

Il pacchetto software HEC-RAS 4.0 (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), elaborato dall'U.S. Army Corps of Engineers è uno strumento di calcolo idraulico monodimensionale dalla consolidata affidabilità, ampiamente utilizzato in campo internazionale e nazionale. HEC-RAS permette di condurre l'analisi idraulica monodimensionale sia a moto permanente che vario. L'interfaccia utente (Graphical User Interface GUI) permette un agevole inserimento di dati ed una pronta analisi dei risultati. La possibilità di georeferenziare le sezioni introdotte permette una intuitiva rappresentazione grafica dei risultati.

Il modello a moto permanente, costruito con il codice di calcolo HEC-RAS permette di valutare tutte le grandezze idrauliche di interesse per una corrente gradualmente variata in regime subcritico, supercritico o misto.

Tale codice di calcolo è basato essenzialmente sull'integrazione, alle differenze finite, dell'equazione dell'energia di una corrente. Le perdite di energia sono valutate mediante il coefficiente di scabrezza di Manning per le perdite distribuite e mediante i coefficienti di contrazione ed espansione della corrente per valutare le perdite concentrate dovute alla variazione della sezione trasversale. Nella simulazione del moto vario il modello utilizza il motore di calcolo UNET sviluppato dal Dr. Robert L. Barkau's. UNET risolve le equazioni complete di De St. Venant utilizzando uno schema di risoluzione implicito alle differenze finite. Tale schema di calcolo è stato sviluppato per il moto vario in corrente subcritica.

Lo schema di risoluzione utilizza il metodo di Newton-Raphson iterativo per risolvere equazioni non lineari. Tale codice di calcolo, comunque, pur utilizzando una soluzione linearizzata, per una corrente subcritica fornisce risultati affidabili e stabili, avendo l'accortezza di utilizzare intervalli di calcolo sufficientemente ridotti. Permette inoltre di simulare in modo efficace le singolarità introdotte nel modello: ponti, tratti tominati, invasi in linea e in derivazione, sfioratori in linea, sfioratori laterali, luci a battente.

I profili di corrente sono calcolati risolvendo, mediante procedura iterativa (standard step method) la seguente equazione del bilancio dell'energia fra due sezioni:

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	68	73



$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Y_1, Y_2 : Altezze idriche in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,
 Z_1, Z_2 : Quote dei punti di thalweg in corrispondenza delle sezioni 1 e 2,
 V_1, V_2 : Velocità medie,
 α_1, α_2 : Coefficienti di perdita,
 g : Accelerazione di gravità,
 h_e : Perdite fra le sezioni calcolate con la seguente espressione:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

- L : Distanza fra le sezioni pesata sulle portate,
 S_f : Pendenza della linea dell'energia per le perdite distribuite,
 C : Coefficiente di espansione o contrazione.

Per distanza fra le sezioni pesata sulle portate si intende la lunghezza calcolata con la seguente formula:

$$L = \frac{L_{lob} Q_{lob} + L_{ch} Q_{ch} + L_{rob} Q_{rob}}{Q_{lob} + Q_{ch} + Q_{rob}}$$

dove:

- L_{lob}, L_{ch}, L_{lor} : Distanza fra le sezioni specificata rispettivamente per la golena sinistra, per l'alveo e per la golena destra,
 Q_{lob}, Q_{ch}, Q_{lor} : Somme aritmetiche delle portate defluenti rispettivamente nella golena sinistra, nell'alveo e nella golena destra.

Le ipotesi alla base del modello sono le seguenti:

- Si ipotizza che il moto sia gradualmente variato, ovvero che, in corrispondenza di ciascuna sezione, vi sia una distribuzione idrostatica delle pressioni.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	69	73



- In prossimità di singolarità, dove il moto diventa rapidamente variato, il programma utilizza in automatico, invece dell'equazione dell'energia, l'equazione dell'equilibrio delle spinte o altre equazioni empiriche.
- Il moto è ipotizzato monodimensionale.
- La pendenza del corso idrico è generalmente modesta.

Con il supporto del software HEC-RAS, è possibile calcolare, in tutte le sezioni di interesse del modello, le principali caratteristiche della corrente sia in moto permanente che vario. I dati necessari per la costruzione del modello sono i dati geometrici relativi alle sezioni, le distanze fra le sezioni, i coefficienti di scabrezza, i coefficienti di espansione e contrazione, la descrizione geometrica ed i parametri idraulici di eventuali strutture aggiuntive (ponti, traverse, sfioratori etc.). Oltre a questi dati occorre inserire le condizioni al contorno per il dominio di calcolo, che possono essere ad esempio l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme etc..

Nell'inserimento dei dati relativi alla geometria, HEC-RAS permette di georeferenziare sia il tracciato dell'asta fluviale, sia le sezioni fluviali, permettendo così la costruzione di una visualizzazione prospettica del modello e dei suoi risultati in termini di livelli idrici.

L'opzione "Ineffective Areas" permette di definire, per ciascuna sezione, una porzione della stessa che non partecipa attivamente al deflusso: in tali aree, soggette comunque ad allagamento, la velocità di deflusso è molto prossima allo zero. Il volume invasato è incluso nell'equazione di continuità, ma la porzione di perimetro bagnato relativo a tali aree non partecipa al calcolo delle perdite distribuite. Tali aree vengono di solito utilizzate in prossimità di strutture che ingombrano parte della sezione di deflusso e creano delle zone dove effettivamente la velocità di deflusso è prossima allo zero.

È inoltre possibile fissare una quota di disattivazione di tali aree; ovvero quando il livello idrico nella sezione raggiunge o supera tale valore la porzione di sezione viene attivata e partecipa al deflusso.

La contrazione e l'espansione della vena liquida fra due sezioni adiacenti è causa di perdite di carico valutate dal codice di calcolo come concentrate con l'utilizzo di opportuni valori del coefficiente C.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	70	73



Tipici valori, nel caso di correnti lente variano fra 0.1 e 0.3 per il coefficiente di contrazione e fra 0.3 e 0.5 per il coefficiente di espansione. I valori più elevati sono tipici in prossimità dei restringimenti causati dall'ingombro delle spalle e delle pile dei manufatti di attraversamento.

Tali coefficienti sono quindi utilizzati per valutare le perdite di energia a valle e a monte dei ponti inseriti nel modello. Il programma ha la capacità di utilizzare approcci di calcolo differenti per simulare le diverse configurazioni del passaggio della corrente a seconda che l'altezza idrica interessi l'impalcato del ponte e che il deflusso sia in regime di corrente lenta o veloce o passi lo stato critico in corrispondenza dell'attraversamento.

Nel caso di corrente completamente subcritica che non interessa l'impalcato dei ponti, l'effetto di rigurgito indotto dalla presenza delle spalle può essere valutato dal programma mediante diverse opzioni:

- 1 - Standard Step Method;
- 2 - Bilancio delle spinte;
- 3 - L'equazione empirica di Yarnell;
- 4 - Il metodo FHWA WSPRO.

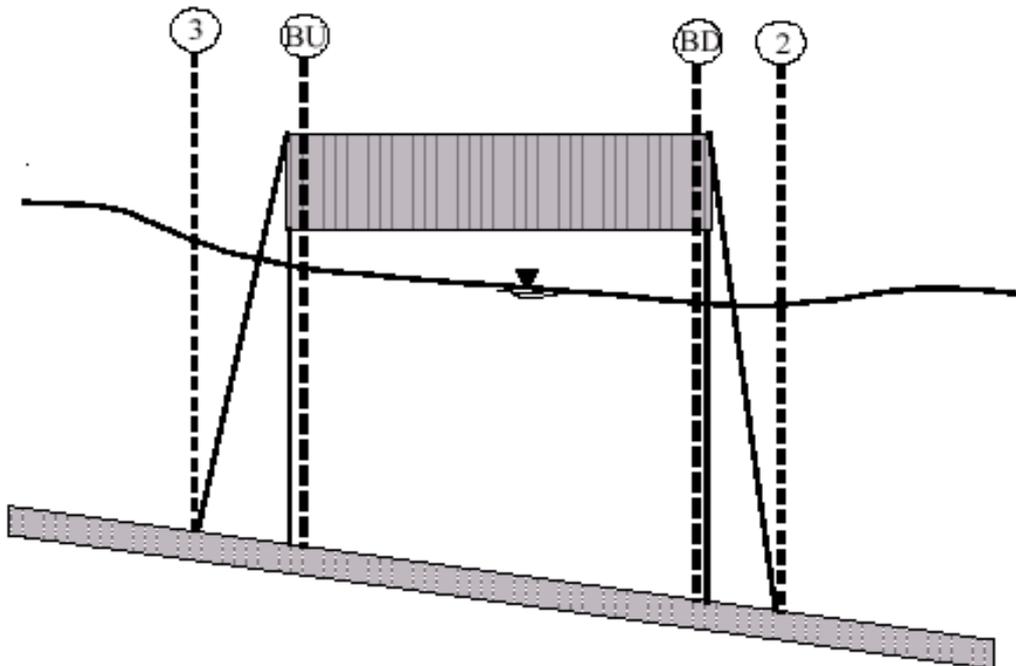


Figura B.1 - Profilo in corrispondenza di un ponte. (dal manuale di HEC-RAS)

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	71	73



Il bilancio delle spinte viene realizzato in un processo con tre step. Nel primo passo si valuta un bilancio tra la sezione 2 e la sezione BD con la seguente equazione:

$$A_{BD} Y_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} = A_2 Y_2 + \frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} - A_{pBD} Y_{pBD} + F_f - W_x$$

dove:

- A_2, A_{BD} : area attiva rispettivamente alla sezione 2 e BD,
- A_{pBD} : area ostruita dalla pila nel lato verso valle,
- Y_2, Y_{BD} : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della corrente con area rispettivamente A_2 e A_{BD} ,
- Y_{pBD} : distanza verticale dalla superficie dell'acqua al centro di gravità della parte di pila sommersa nel lato verso valle,
- β_2, β_{BD} : coefficienti per la velocità nell'equazione di bilancio,
- Q_2, Q_{BD} : portata,
- g : accelerazione di gravità,
- F_f : forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso dell'acqua,
- W_x : forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del flusso, per unità di peso dell'acqua.

Nel secondo passaggio l'equazione di bilancio viene risolta tra le sezioni BD e BU:

$$A_{BU} Y_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} = A_{BD} Y_{BD} + \frac{\beta_{BD} Q_{BD}^2}{g A_{BD}} + F_f - W_x$$

Infine nel terzo passaggio l'equazione di bilancio è fatta tra la sezione BU e la sezione 3:

$$A_3 Y_3 + \frac{\beta_3 Q_3^2}{g A_3} = A_{BU} Y_{BU} + \frac{\beta_{BU} Q_{BU}^2}{g A_{BU}} + A_{pBU} Y_{pBU} + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{pBU} Q_3^2}{g A_3^2} + F_f - W_x$$

dove C_D è un coefficiente di flusso attorno alle pile.

L'equazione empirica di Yarnell, con riferimento alla figura precedente, è la seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6)(\alpha + 15\alpha^4) \frac{V^2}{2g}$$

dove:

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	72	73



- H_{3-2} : dislivello nel pelo libero tra la sezione 3 e la sezione 2,
K: coefficiente di Yarnell di forma delle pile,
 ω : rapporto dell'altezza cinetica sulla profondità alla sezione 2,
 α : area ostruita dalle pile divisa per l'area totale senza ostruzioni alla sezione 2,
V: velocità a valle della sezione 2.

L'altezza del pelo libero nella sezione di monte dell'attraversamento è data dall'altezza a valle sommata alla quantità H_{3-2} , che rappresenta dunque il rigurgito provocato dal ponte.

DATA DATE	DOCUMENTO DOCUMENT	COMMESSA JOB	PROTOCOLLO DOC. No.	REVISIONE REVISION	PAG. PAGE	PAG. TOT. TOT. PAGES
28.07.10	Relazione idraulica	2188	05	0	73	73