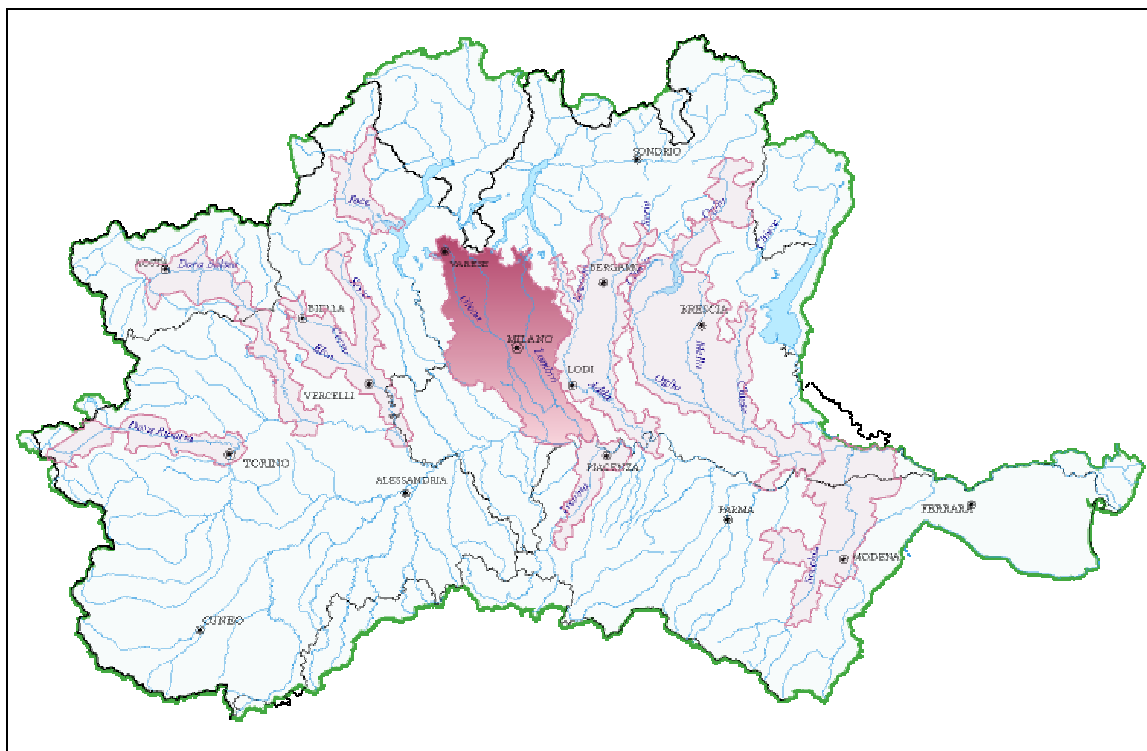




AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

## Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona.




### Fiume Lambro

(1<sup>a</sup> parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)

**Attività 5.2.2:** Analisi idraulica

**Prodotto 5.2.2./2:** Relazione descrittiva dell'analisi e dei risultati

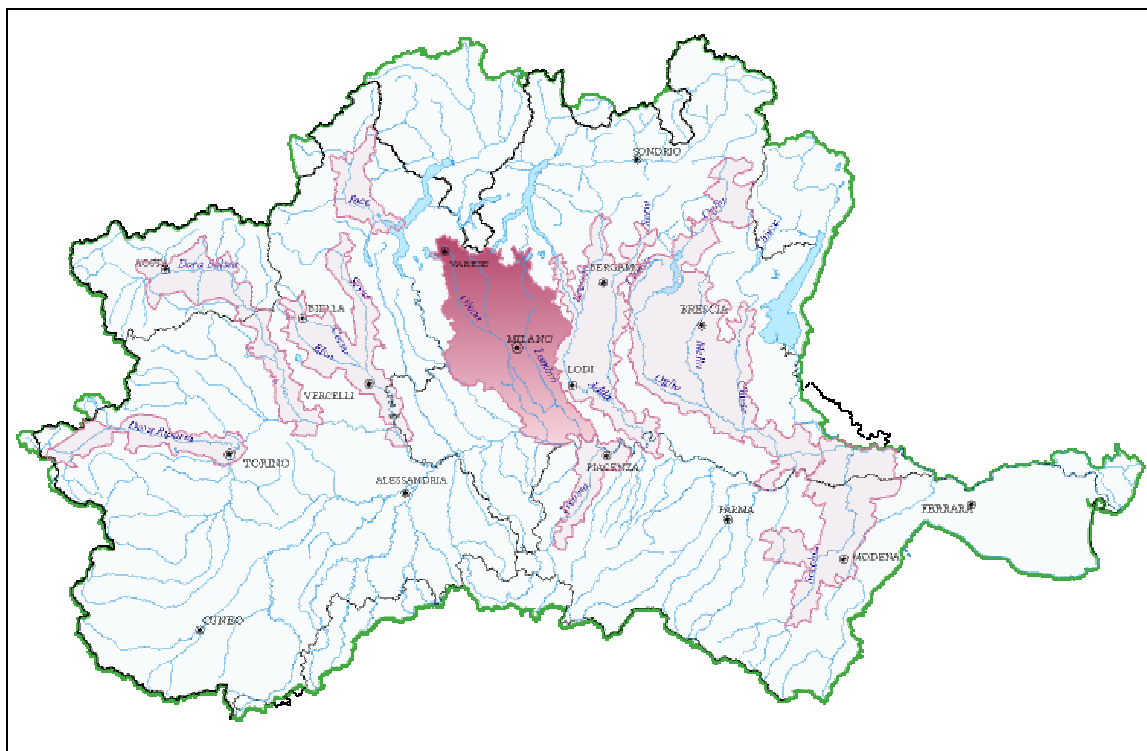
**Elaborato 5.2.2./2/1R/LA1:** Relazione descrittiva e di analisi dell'attività

<b>Tipo di documento:</b> [R] + Relazione	<b>Data redazione:</b> Dicembre 2003	<b>Versione:</b> 01
<b>Ditta:</b>  <b>C. LOTTI &amp; ASSOCIATI</b> SOCIETÀ DI INGEGNERIA S.p.A. ROMA	<b>Realizzata da:</b> Ing. Alessandro Paoletti Ing. Giovanni Battista Peduzzi	<b>Responsabile del progetto:</b> Ing. Giorgio Visentini



AUTORITA' 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.**



**Fiume Lambro**

**(1^ parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)**

**Attività 5.2.2: Analisi idraulica**

**Prodotto 5.2.2./2: Relazione descrittiva dell'analisi e dei risultati**

**Elaborato 5.2.2./2/1R/LA1: Relazione descrittiva e di analisi dell'attività**

---

**STUDIO DI FATTIBILITÀ DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA  
DEI CORSI D'ACQUA NATURALI ED ARTIFICIALI ALL'INTERNO  
DELL'AMBITO IDROGRAFICO DI PIANURA LAMBRO – OLONA.**

**FIUME LAMBRO**

**(1<sup>^</sup> parte – dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)**

**RELAZIONE DESCRITTIVA E DI ANALISI DELL'ATTIVITÀ**

N° PROGETTO: <b>88.A.001</b>			N°. Elaborato: 5.2.2./2/1R/LA1		
0	Gennaio 2003	EMISSIONE			
1	Dicembre 2003	REVISIONE A SEGUITO COMPLETAMENTO MODELLO IDRAULICO			
2					
3					
4					
<i>revisione</i>	<i>data</i>	<i>descrizione</i>	<i>redatto</i>	<i>verificato</i>	<i>approvato</i>

---

## **RELAZIONE DESCRITTIVA E DI ANALISI DELL'ATTIVITÀ:**

- **PARTE I^: CONDIZIONE ATTUALE**
- **PARTE II^: ASSETTO DI PROGETTO**

## **PARTE I^: CONDIZIONE ATTUALE**

### **INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
1.1	ORIGINALITÀ DEL CONTESTO LAMBRO-OLONA NEL PANORAMA DEL BACINO DEL FIUME PO .....	2
1.2	PECULIARITÀ DEL FIUME LAMBRO NELL'AMBITO LAMBRO-OLONA .....	3
<b>2</b>	<b>IL MODELLO DI SIMULAZIONE (MIKE 11- MODULO HD) APPLICATO AL FIUME LAMBRO.....</b>	<b>7</b>
2.1	DESCRIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE IDRAULICA PER TRATTI.....	13
2.1.1	1° tratto "naturale" dal lago di Pusiano a Villasanta – ponte S. Giorgio. ....	13
2.1.2	2° tratto "urbano" da Villasanta – ponte S. Giorgio al ponte dell'autostrada A4.....	16
2.1.3	3° tratto "urbano" dal ponte dell'autostrada A4 fino alla linea metropolitana MM2-Cascina Gobba	18
2.1.4	4° tratto "urbano" dalla linea metropolitana MM2-Cascina Gobba al ponte di viale Forlanini - Milano.....	21
2.1.5	5° tratto "urbano" dal ponte di viale Forlanini – Milano alla confluenza con il Deviatore Redefossi	24
2.1.6	Conclusioni.....	25
2.2	ASPETTI DI DETTAGLIO DEL MODELLO IDRAULICO .....	26
2.2.1	Lago di Pusiano (con cavo Diotti) e lago di Alserio .....	26
2.2.2	NAM urbani: schema idraulico di simulazione delle reti fognarie .....	30
2.2.3	Delimitatori d'alveo .....	31
2.2.4	Perdite di carico concentrate .....	32
2.2.5	Affluenti naturali .....	32
2.2.6	Affluenti artificiali .....	33
2.2.7	Condizioni al contorno e scabrezze.....	34
<b>3</b>	<b>TARATURA DEL MODELLO .....</b>	<b>35</b>
3.1	SCELTA DELL'EVENTO DI TARATURA .....	35
3.2	ANALISI DELL'EVENTO E RISPOSTA DEL MODELLO .....	40
3.3	CONCLUSIONI.....	50
<b>4</b>	<b>ASSETTO IDRAULICO ATTUALE .....</b>	<b>52</b>
4.1	LIVELLI IDRICI E PORTATE DI PIENA .....	52
4.2	CONFRONTO FRA LE PORTATE DEL MODELLO E LE PORTATE DEL PAI VIGENTE .....	60
4.3	PONTI .....	61
4.4	PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI ALLAGAMENTO .....	65
<b>5</b>	<b>ANALISI DETTAGLIATA DI SITUAZIONI DI ALLAGAMENTO SIGNIFICATIVE .....</b>	<b>71</b>
5.1	INCILE DAL LAGO DI PUSIANO .....	71
5.2	CASSA DI ESPANSIONE DI MERONE SUL TORRENTE BEVERA DI MOLTENO .....	72
5.3	AREE DI ALLAGAMENTO NATURALI IN COMUNE DI INVERIGO .....	72
5.4	CARTIERA VILLA.....	74
5.5	FRAZIONE DI AGLIATE (COMUNE DI CARATE BRIANZA) .....	74
5.6	FRAZIONE S. GIORGIO (COMUNE DI BIASSONO-VILLASANTA).....	75
5.7	COMUNE DI MONZA .....	77
5.8	COMUNE DI COLOGNO MONZESE .....	81
5.9	COMUNE DI MILANO .....	83

## INDICE TABELLE

TABELLA 1: CONFRONTO TRA LA PORTATA IDRAULICA, LA PORTATA COMPATIBILE E LA PORTATA IDROLOGICA (T=200 ANNI) .....	5
TABELLA 2: PORTATE AL COLMO E CONTRIBUTI SPECIFICI DI PIENA, PER I TEMPI DI RITORNO 10, 200 E 500 ANNI .....	10
TABELLA 3: CONFRONTO TRA LA PORTATA IDRAULICA E LA PORTATA COMPATIBILE (T=200 ANNI) .....	54
TABELLA 4: PORTATE AL COLMO E VOLUMI IN ALCUNE SEZIONI DEL LAMBRO PER T=200 .....	59
TABELLA 5: LIVELLI E PORTATE AL COLMO IN ALCUNE SEZIONI DEL LAMBRO PER T=10, 200, 500 (I VALORI DI PORTATA SONO APPROSSIMATI A MULTIPLI DI 5 RISPETTO AI RISULTATI DEL MODELLO) .....	59
TABELLA 6: ANALISI DELLE INSUFFICIENZE DEI MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO. (IL FRANCO NEGATIVO INDICA CHE IL LIVELLO IDRICO SI TROVA SOTTO IL LIVELLO DI INTRADOSSO DEL PONTE. LA DIFFERENZA DI LIVELLO SUL PIANO STRADALE INDICA, SE NEGATIVA, CHE IL LIVELLO IDRICO SI TROVA SOTTO IL PIANO STRADALE) .....	62
TABELLA 7: SUPERFICI E VOLUMI DELLE AREE DI ESPANSIONE NATURALE .....	70

## INDICE FIGURE

FIGURA 1: SUDDIVISIONE DEL FIUME LAMBRO IN TRATTI OMOGENEI .....	12
FIGURA 2: ESEMPIO DI LAMINAZIONE DELL'ONDA DI PIENA PER EFFETTO DELLE AREE DI ESPANSIONE NATURALE – ZONA DI LAMBRUGO .....	16
FIGURA 3: ESONDAZIONE COMUNE DI COLOGNO – NOVEMBRE 2002 (FONTE COMUNE DI COLOGNO MONZESE) .....	20
FIGURA 4: CONFRONTO FRA L'ONDA IN INGRESSO AL TRATTO, AL PARCO LAMBRO (DI COLORE BLU) E L'ONDA TRANSITANTE AL DI SOTTO DELLA LINEA FERROVIARIA MILANO-TREVIGLIO (DI COLORE ROSSO) .....	23
FIGURA 5: RAMO NATURALE E ARTIFICIALE DEL LAMBRO IN USCITA DAL LAGO DI PUSIANO .....	26
FIGURA 6: LIVELLI DEL LAGO DI PUSIANO E PORTATE IN USCITA .....	28
FIGURA 7: LIVELLO IDRICO MISURATO DALL'IDROMETRO DI LAMBRUGO .....	37
FIGURA 8: LIVELLO IDRICO MISURATO DALL'IDROMETRO DI PEREGALLO .....	38
FIGURA 9: LIVELLO IDRICO MISURATO DALL'IDROMETRO DI VILLASANTA .....	38
FIGURA 10: LIVELLO IDRICO MISURATO DALL'IDROMETRO DI VIA FELTRE .....	39
FIGURA 11: IDROMETRO DI PEREGALLO – CONFRONTO FRA LIVELLI REGISTRATI E LIVELLI RESTITUITI DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO .....	40
FIGURA 12: IDROMETRO DI VIA FELTRE – CONFRONTO FRA LIVELLI REGISTRATI E LIVELLI RESTITUITI DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO .....	41
FIGURA 13: ANDAMENTO DEI LIVELLI DEL LAGO DI PUSIANO DURANTE L'EVENTO DEL NOVEMBRE 2002. ....	43
FIGURA 14: ANDAMENTO DEI LIVELLI DEL LAMBRO IN CORRISPONDENZA DELLA FRAZIONE DI AGLIATE DURANTE L'EVENTO DEL NOVEMBRE 2002 .....	45
FIGURA 15: ANDAMENTO DEI LIVELLI DEL LAMBRO IN CORRISPONDENZA DEL PONTE DI S. GIORGIO DURANTE L'EVENTO DEL NOVEMBRE 2002 .....	48
FIGURA 16: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA132.19 PER T= 200 ANNI .....	55
FIGURA 17: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA128 A VALLE DELLA CONFLUENZA CON LA BEVERA DI MOLTEO PER T= 200 ANNI .....	56
FIGURA 18: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA100.2 S. GIORGIO VILLASANTA, PER T= 200 ANNI. (IN COLORE ROSSO E VERDE SONO RAPPRESENTATI GLI IDROGRAMMI NELLE AREE DI ALLAGAMENTO) .....	56
FIGURA 19: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA91, PONTE AUTOSTRADA A4, PER T= 200 ANNI .....	57
FIGURA 20: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA78, PONTE VIA FELTRE, PER T= 200 ANNI. (IN COLORE ROSSO È RAPPRESENTATO L'IDROGRAMMA NELLE AREE DI ALLAGAMENTO) .....	57
FIGURA 21: IDROGRAMMA ALLA SEZIONE LA74, PONTE FFSS A MILANO, PER T= 200 ANNI .....	58
FIGURA 22: IDROGRAMMI ALLA SEZIONE LA60, A MONTE CONFLUENZA DEVIATORE REDEFOSI, PER T= 200 ANNI. ....	58
FIGURA 23: AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 NEI COMUNI DI INVERIGO, NIBIONNO E VEDUGGIO ....	73
FIGURA 24: AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 A CARATE BRIANZA, FRAZ. AGLIATE .....	75
FIGURA 25: AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 A VILLASANTA, FRAZ. S. GIORGIO .....	76
FIGURA 26: AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 (ROSSA) E T=500 (VERDE) A MONZA .....	79
FIGURA 27: AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 A MONZA, ZONA A SUD DEL CANALE VILLORESI .....	81

FIGURA 28:	AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 A COLOGNO MONZESE E SESTO SAN GIOVANNI.....	82
FIGURA 29:	AREA DI ALLAGAMENTO PER T=200 A MILANO, TRA VIA FELTRE E FS MILANO-TREVIGLIO.....	84
FIGURA 30:	GRAFICO PER L'INDIVIDUAZIONE DEL CARATTERE DELLA CORRENTE IN CORRISPONDENZA DI UN RESTRINGIMENTO DELLA SEZIONE.....	91
FIGURA 31:	POSSIBILI ANDAMENTI DEI PROFILI LIQUIDI IN UN TOMBINO .....	93

## INDICE FOTO

FOTO 1:	LAGO DI PUSIANO – S.S. 639 ORE 17:00 DEL 25/11/2002 .....	42
FOTO 2:	CARATE BRIANZA, FRAZIONE DI AGLIATE, SPONDA SINISTRA – 25 NOVEMBRE 2002 .....	44
FOTO 3:	CARATE BRIANZA, FRAZIONE DI AGLIATE, SPONDA SINISTRA – 27 NOVEMBRE 2002 .....	45
FOTO 4:	VILLASANTA, FRAZIONE DI S. GIORGIO, PONTE DI S. GIORGIO – 25 NOVEMBRE 2002 12:00 .....	46
FOTO 5:	VILLASANTA, FRAZIONE DI S. GIORGIO, PONTE DI S. GIORGIO – 26 NOVEMBRE 2002 .....	47
FOTO 6:	VILLASANTA, FRAZIONE DI S. GIORGIO, PONTE DI S. GIORGIO – AREE ESONDATE .....	47
FOTO 7:	PONTE AUTOSTRADA A4 NEI PRESSI DEL DEPURATORE DI MONZA – 25 NOVEMBRE, 11:00 .....	49
FOTO 8:	CONFLUENZA LAMBRO E TORRENTE BEVERA DI MOLTENO – 30 NOVEMBRE 2002 .....	49
FOTO 9:	PONTE ALLA SEZIONE LA124.1 .....	67
FOTO 10:	ABITAZIONI SOGGETTE AD ALLAGAMENTO NEI PRESSI DEL PONTE DI S. GIORGIO .....	76
FOTO 11:	TORRE A MONTE LINEA FERROVIARIA – MONZA.....	78

APPENDICE.....	86
----------------	----

**ALLEGATO: Schema a blocchi – Fiume Lambro (1<sup>a</sup> parte - dal Lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi)**

## **1 PREMESSA**

Ai fini del presente Studio l'asta fluviale del Lambro è stata suddivisa in due parti: una parte a nord ed in attraversamento di Milano, che va dal Lago di Pusiano fino alla confluenza del Deviatore Redefossi, ed una seconda parte, a sud di Milano, che dal termine della precedente si sviluppa fino alla confluenza del Lambro nel Po.

La presente relazione si riferisce alla 1<sup>a</sup> parte del Lambro, fino alla confluenza del Deviatore Redefossi e descrive le metodologie utilizzate ed i risultati ottenuti per la caratterizzazione della dinamica fluviale del fiume Lambro nella configurazione di stato di fatto sia in occasione di onde di piena sintetiche associate a eventi di 10, 200 e 500 anni di tempi di ritorno, sia in occasione dell'evento reale verificatosi nel mese di novembre 2002 utilizzato per la taratura del modello.

Nel periodo necessario alla definizione dei modelli di calcolo da utilizzarsi, si sono sviluppate attività volte ad approfondire le tematiche in studio con particolare attenzione:

- all'analisi dei rilievi topografici ed alla selezione delle informazioni per la costruzione del modello, integrando i dati con le cartografie aerofotogrammetriche esistenti;
- alla raccolta documentale di tutte le informazioni rese disponibili da Enti (Regione Lombardia, Provincia di Milano, Consorzi di Bonifica e Depurazione, Comuni) e/o da cittadini che sul fiume vivono o lavorano e pertanto godono di un osservatorio privilegiato per rilevarne direttamente l'evoluzione;
- al censimento delle informazioni in merito alle esondazioni passate sul fiume Lambro;



- alla conoscenza del territorio mediante il confronto tra i documenti resi disponibili dalle altre attività dello studio (catasto delle opere, quadro urbanistico, ecc.) e i sopralluoghi di dettaglio su tutta l'asta.

Fondamentale inoltre per la corretta interpretazione della dinamica di bacino è stata l'analisi condotta sull'evento di piena del novembre 2002. Oltre ai dati "ufficiali" forniti da Regione Lombardia, Comune di Milano e ALSI, gli scriventi hanno effettuato sopralluoghi durante tale evento e nei giorni immediatamente successivi rilevando gli elementi utili alla verifica della rispondenza tra sistema reale e modello.

La relazione si articola pertanto, in accordo con l'attività svolta, nei seguenti punti:

- sintesi delle caratteristiche morfologiche dell'asta;
- individuazione e descrizione dell'assetto del modello;
- taratura del modello sulla base dell'evento reale selezionato;
- individuazione dei livelli idrici di massima piena, delle aree esondate storicamente e delle aree attualmente a rischio di esondazione per eventi con tempo di ritorno 10, 200 e 500 anni;
- indicazione delle dinamiche che generano le insufficienze idrauliche.

Nei successivi capitoli vengono riassunti i contenuti essenziali relativamente a ciascuna delle problematiche affrontate.

Risulta opportuno tuttavia anticipare sin nella presente premessa l'elemento di caratterizzazione idraulica del fiume Lambro (e dell'ambito Lambro-Olona), che influenza tutto l'approccio allo studio del corso d'acqua sia nella condizione attuale sia nell'assetto di progetto (cfr. Parte II della presente Relazione).

## **1.1 ORIGINALITÀ DEL CONTESTO LAMBRO-OLONA NEL PANORAMA DEL BACINO DEL FIUME PO**

Come correttamente evidenziato nella specifica tecnica delle attività, l'ambito Lambro-Olona presenta notevoli specificità che ne fanno un caso unico nel bacino del Po. In estrema sintesi le maggiori peculiarità possono essere così riassunte:

- i corsi d'acqua oggetto di studio presentano tutti indistintamente una conformazione consolidata con capacità di deflusso progressivamente inferiore da monte verso valle. Come evidenziato dalle modellazioni eseguite (Seveso, Lambro, Lura, Groane, Bozzente) e come storicamente noto, tutti i corsi d'acqua dell'ambito, convergendo sulla zona urbana di Milano e dell'hinterland, trovano alvei che per diversi chilometri (10÷15) hanno capacità di smaltimento inadeguata alle esigenze con tempo di ritorno modesto. Tali limitazioni al deflusso derivano da una consolidata conformazione d'alveo che si è venuta sviluppando nei secoli fino ad oggi e che è l'insieme di vincoli posti dalla ridotta dimensione dell'alveo, dalla successione ininterrotta di ponti e della

discontinuità del sistema difensivo nell'attraversamento delle zone urbanizzate. Su normali corsi d'acqua infatti è possibile trovare sezioni puntuali (es. ponti) che inducono limitazioni anche pesanti al deflusso. Tali sezioni tuttavia sono appunto puntuali e a valle delle stesse gli alvei riprendono caratteristiche di naturalità e di capacità di convogliamento simili e/o superiori a quelle di monte;

- l'urbanizzazione del territorio di fatto ha confinato i tratti terminali dei corsi d'acqua in ambiti o in sezioni chiuse il cui ampliamento non risulta proponibile e già era escluso nei lavori del Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano del 1937;
- le sezioni di deflusso sono caratterizzate da numerosi manufatti di attraversamento e da un sistema difensivo spondale discontinuo e cresciuto, senza un criterio guida omogeneo, come conseguenza dei limiti imposti dalle urbanizzazioni;
- i contributi dei sistemi di allontanamento delle acque meteoriche provenienti dai centri urbani risultano in grado di saturare il sistema "naturale".

## **1.2 PECULIARITÀ DEL FIUME LAMBRO NELL'AMBITO LAMBRO-OLONA**

Nel panorama generale sopra riassunto il fiume Lambro (con bacino idrografico superiore ai restanti corsi d'acqua dell'ambito in studio) risulta caratterizzato dal seguente assetto idraulico:

- il fiume Lambro è l'unico corso d'acqua dell'ambito Lambro-Olona che risulta essere emissario di un lago (lago di Pusiano). La presenza del lago di Pusiano, con la sua notevole estensione e capacità d'invaso, determina un sostanziale abbattimento delle onde di piena provenienti dal bacino prelacuale (pari a circa 110 km<sup>2</sup>);
- l'effetto di laminazione del lago genera deflussi nell'alveo a valle caratterizzati da picchi poco accentuati (rispetto a quelli entranti nel lago) ma durate molto prolungate, caratteristiche tipiche delle onde in uscita dagli invasi. I volumi che transitano nel Lambro sono quindi molto elevati (il volume dell'onda in uscita dal lago di Pusiano durante l'evento di piena del novembre 2002 è stato pari, nei giorni compresi tra il 12 e il 30 novembre, a circa 34 milioni di metri cubi). Tale aspetto, come meglio evidenziato nella Parte II della presente Relazione, relativa all'assetto di progetto, preclude la reale efficacia di interventi di laminazione diretta delle portate del Lambro, in quanto non è possibile reperire lungo il corso del fiume superfici e volumi di entità tale da poter laminare onde con volumetrie così elevate;
- il corso del Lambro compreso tra il lago di Pusiano e Villasanta risulta essere generalmente incassato nel fondo valle e riceve prevalentemente contributi di piena provenienti da bacini naturali. Tutti gli affluenti del Lambro, tra cui i principali sono le Bevere (Molteno, Veduggio, Renate), sono localizzati in sinistra idraulica a monte della provincia di Milano;

- a valle del tratto suddetto il Lambro attraversa una vasta zona pianeggiante, densamente urbanizzata, all'interno della quale si trovano importanti ed estesi centri urbani (Monza, Cologno Monzese, Sesto San Giovanni e Milano). In particolare il Lambro attraversa il centro storico di Monza, successivamente scorre tra i comuni di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese, fino ad attraversare la periferia est del comune di Milano. Nell'attraversamento dei comuni di Monza e di Milano il Lambro ha una capacità idraulica molto limitata, tanto che negli ultimi 50 anni si sono succedute esondazioni rilevanti (anni 1949, 1951, 1976, 2002) con cadenza pressoché venticinquennale. Tale cadenza e storicità risulta inaccettabile se rapportata ai danni indotti al tessuto antropico interessato. Fortunatamente l'evoluzione dei fenomeni di propagazione delle piene, con genesi nelle zone prelacuali e naturali del bacino, consente un discreto margine di preavviso alle popolazioni e pertanto la drastica riduzione del rischio di perdita di vite umane. L'evento del novembre 2002 risulta a tale proposito assai emblematico. La progressiva urbanizzazione del bacino, tuttavia, ha indotto la possibilità di formazione di piene dovute a precipitazioni nel solo settore urbano, con caratteristiche di concentrazione assai diverse e con tempi di formazione, e quindi di preavviso, stimate in poche ore.

Tale assetto idraulico attuale è ben sintetizzato nella seguente tabella 1 ove si riporta, per tratti, la capacità idraulica dell'alveo a confronto con la portata duecentennale, risultante dalla modellazione, in arrivo nella sezione anche attraverso lo scorrimento laterale o il superamento di manufatti. In tabella i valori risultano arrotondati ai 5 m<sup>3</sup>/s, mentre tra parentesi è riportato il valore "di modello".

Nella medesima tabella sono riportati anche i valori della portata idrologica, intesa come la portata teorica defluente in alveo, senza la presenza di manufatti interferenti (ponti, traverse, ecc.), senza fenomeni di allagamento e senza alterazioni derivanti dall'azione di particolari manufatti idraulici. E' evidente come tale portata sia molto maggiore rispetto alla portata che effettivamente può transitare nelle diverse sezioni (portata idraulica). Tale differenza mette in evidenza il notevole impatto che le opere interferenti e le aree di esondazione naturale hanno nei confronti della formazione delle piene. Appare pertanto improponibile un'analisi delle portate lungo l'asta principale del Lambro attraverso l'utilizzo di modelli puramente idrologici. Si evidenzia pertanto il ricorso a modellazioni idrologico – idrauliche che coniughino i modelli idrologici, adottati per calcolare le onde di piena confluenti dai sottobacini contribuenti (v. Relazione descrittiva dell'*Attività 5.2.1 – Definizione delle portate di piena di riferimento*), con modelli idraulici di moto vario dell'asta principale.

Tale aspetto spiega anche il motivo per cui le portate calcolate con il presente studio risultano essere difformi rispetto alle corrispondenti contenute nel PAI. (cfr. par. 4.2).

In particolare si nota come a valle della sezione LA78 (ponte di via Feltre a Milano) la vastità delle esondazioni nelle zone pianeggianti provochi uno sfasamento dei colmi tra portata in alveo e portata laterale, tale da indurre una riduzione della portata idraulica al colmo in grado di transitare a valle. Ciò a prezzo di volumetrie con deflusso fuori alveo pari a circa il 23 % dell'onda duecentennale.

La conformazione dell'onda a valle è oltremodo determinata dalla sezione di controllo costituita dal ponte FS (LA73.3) a valle di Rubattino e dal rilevato ferroviario posto a

quota non sormontabile. E' interessante notare come di fatto il valore della portata al termine del tratto naturale (sezione LA100.2 a Villasanta) si riproponga poco incrementato in corrispondenza della sezione terminale (LA60). Tale fatto conferma come le esondazioni sopracitate, seppur imponenti, riescano al più a laminare parte della componente urbana, caratterizzata da volumi contenuti.

Nella suddetta tabella 1 i valori di portata in **grassetto** sono riferiti al Lambretto (Monza).

**Tabella 1: Confronto tra la portata idraulica, la portata compatibile e la portata idrologica (T=200 anni)**

Sezione	Progressive [m]	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata compatibile stato attuale	Portata idrologica stato attuale (T=200)
LA 132.19	21249	uscita lago di Pusiano	50 <sub>(48)</sub>	15 (T<200)	70 <sub>(69)</sub>
LA 132.11	22545	Ponte S.P. 41 -Merone	60 <sub>(60)</sub>	25 (T<200)	85 <sub>(83)</sub>
LA 129.2	25528	confluenza Bevera Molteno	120 <sub>(122)</sub>	45 (T<200)	150 <sub>(148)</sub>
LA 127	27039	Ponte via Dante - Lambrugo	120 <sub>(119)</sub>	60 (T<200)	150 <sub>(151)</sub>
LA 124.3	28882	Ponte S.S. 342 (Briantea)	115 <sub>(116)</sub>	60 (T<200)	155 <sub>(154)</sub>
LA 120.1	33107	Ponte via Camisasca - Inverigo	135 <sub>(133)</sub>	50 (T<200)	195 <sub>(196)</sub>
LA 117.1	35620	Ponte S.P. 42	150 <sub>(150)</sub>	70 (T<200)	225 <sub>(227)</sub>
LA 111	39910	Ponte via Garibaldi – Verano Brianza	155 <sub>(155)</sub>	80 (T<200)	235 <sub>(237)</sub>
LA 109	41669	Ponte via Fiume - Carate Brianza	155 <sub>(156)</sub>	95 (T<200)	240 <sub>(240)</sub>
LA106.3	43780	Ponte strada comunale – Triuggio	155 <sub>(157)</sub>	155 (T=200)	240 <sub>(242)</sub>
LA 104.1	46085	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	165 <sub>(164)</sub>	100 (T<200)	255 <sub>(253)</sub>
LA 102	48740	Ponte vecchio - Biassono	175 <sub>(174)</sub>	100 (T<200)	270 <sub>(272)</sub>
LA 100.2	51206	Ponte S. Giorgio - Villasanta	190 <sub>(189)</sub>	90 (T<200)	285 <sub>(286)</sub>
LA97.3	53802	Ponte ad arco via Cavigra Villasanta	195 <sub>(194)</sub>	90 (T<200)	285 <sub>(287)</sub>
LA96.1	55162	Ponte ad arco via Cantore – Monza	200 <sub>(201)</sub>	80 (T=10)	285 <sub>(287)</sub>
LA94.4	56510	Ponte FFSS - Monza	110+ <b>100</b> <sub>(110+99)</sub>	40+ <b>45</b> (T=10)	205+ <b>80</b> <sub>(207+79)</sub>
LA93.3	57645	Ponte canale Villoresi	215 <sub>(216)</sub>	120 (T=10)	285 <sub>(287)</sub>
LA91	60397	Ponte A4	295 <sub>(295)</sub>	120 (T<10)	310 <sub>(310)</sub>
LA90.1	61279	Ponte S. Maurizio - Cologno Monzese	295 <sub>(295)</sub>	130 (T<10)	310 <sub>(310)</sub>
LA88.1.1	62638	Ponte Tangenziale Nord	295 <sub>(295)</sub>	185 (T<200)	310 <sub>(309)</sub>
LA84.1	66546	Ponte via Di Vittorio Sesto San Giovanni	330 <sub>(328)</sub>	190 (T<200)	350 <sub>(349)</sub>
LA82.1.2	67560	Ponte canale Naviglio Martesana	310 <sub>(308)</sub>	100 (T<10)	350 <sub>(349)</sub>
LA81.5	68234	Raccordo Tangenziale via Palmanova - Milano	325 <sub>(323)</sub>	215 (T<200)	375 <sub>(377)</sub>
LA78	71253	Ponte via Feltre - Milano	315 <sub>(314)</sub>	125 (T<10)	375 <sub>(370)</sub>
LA77.2	71786	Ponte via Rombon - Milano	315 <sub>(316)</sub>	215 (T<200)	380 <sub>(379)</sub>
LA75	72925	Ponte via Rubattino - Milano	250 <sub>(251)</sub>	150 (T<10)	390 <sub>(390)</sub>
LA73.4	73516	Ponte FF.SS. - Milano	210 <sub>(210)</sub>	150 (T=10)	405 <sub>(405)</sub>
LA72.4	74820	Ponte via Forlanini - Milano	205 <sub>(206)</sub>	90 (T<10)	405 <sub>(405)</sub>

Sezione	Progressive [m]	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata compatibile stato attuale	Portata idrologica stato attuale (T=200)
LA72	75532	Ponte Monluè - Milano	205 <sub>(206)</sub>	120 (T=10)	405 <sub>(405)</sub>
LA70	77615	Ponte via Vittorini - Milano	205 <sub>(205)</sub>	125 (T=10)	405 <sub>(403)</sub>
LA67	80176	Traversa di Bolgiano - Milano	210 <sub>(211)</sub>	90 (T<10)	415 <sub>(413)</sub>
LA65.2	81162	Ponte S.S. 415	210 <sub>(211)</sub>	100 (T<10)	415 <sub>(412)</sub>
LA60	85066	Traversa a monte Deviatore Redefossi	215 <sub>(216)</sub>	215 (T=200)	425 <sub>(425)</sub>

## **2 IL MODELLO DI SIMULAZIONE (MIKE 11- MODULO HD) APPLICATO AL FIUME LAMBRO**

L'asta del fiume Lambro oggetto di interesse è quella sublacuale che inizia dall'incile del lago di Pusiano, la cui estensione e capacità di invaso determina una significativa laminazione delle piene in arrivo dal bacino prelacuale, con conseguenti limitati (anche se comunque determinanti per le esondazioni) effetti nei riguardi dei fenomeni di piena del tratto sublacuale.

Il tratto sublacuale di cui trattasi ha una lunghezza di circa 64 km ed è compreso tra i comuni di Merone a monte, località Ponte Nuovo e la confluenza con il Deviatore Redefossi nel comune di S. Giuliano Milanese, a valle. Esso riveste notevole importanza sia per la diffusa presenza di opere dell'uomo di elevato valore storico e ambientale (antiche traverse, mulini, opifici, ecc.), sia per la vastità delle aree urbane attraversate (città di Monza, Sesto S. Giovanni, Cologno Monzese, Milano) sia per le frequenti esondazioni che in esse si verificano, con caratteri ormai insostenibili.

Le caratteristiche del corso d'acqua di cui trattasi sono del tutto simili a quelle degli altri corsi d'acqua del territorio nord-milanese compreso nell'ambito idrografico Lambro – Olona oggetto dello studio. Infatti, tali corsi d'acqua sono caratterizzati da una grande complessità legata alla plurisecolare azione modificativa dell'uomo tesa alla difesa dalle piene e all'utilizzazione delle acque.

L'antropizzazione del sistema idraulico ed il suo intreccio, spesso a maglie chiuse, sono tali che il classico schema topologico idrografico a ramificazione aperta, che caratterizza i reticoli fluviali univocamente definiti, è ancora riconoscibile solo nelle aree del nord-

milanese in cui i corsi d'acqua scorrono in alvei incisi nelle pendici collinari; successivamente, subito allo sbocco in pianura, il reticolo si complica in un intreccio di canali artificiali progressivamente più importanti in funzione del livello di antropizzazione e di urbanizzazione delle aree. In vaste zone urbane, inoltre, i reticoli fognari di drenaggio delle acque meteoriche urbane sono spesso gli unici ad assicurare, nei limiti della loro potenzialità, lo smaltimento delle acque di piena verso i ricettori.

Dovunque sono presenti restringimenti di sezione, ponti e attraversamenti, traverse e soglie di fondo costruite nei secoli per rendere efficienti le derivazioni idriche, tutti con significativa influenza sul comportamento idraulico delle correnti fluviali, in particolare sulla formazione verso monte di condizioni di rigurgito e di eventuali esondazioni che modificano la forma e la cronologia delle onde di piena oltre che i valori delle portate.

In tale contesto è fondamentale l'affidabilità nella rappresentazione del comportamento idraulico sia dei manufatti od ostacoli che producono singolarità (attraversamenti, ponti, traverse, salti di fondo, coperture, ecc.), sia degli invasi concentrati o diffusi, liberi o regolati, che si formano durante le piene nelle aree golenali e di espansione adiacenti agli alvei. Solo, infatti, con tale rappresentazione è possibile individuare come le onde di piena si modificano nella loro propagazione verso valle, sia per i contributi che gli affluenti e i reticoli fognari apportano lungo il percorso, sia per i citati rigurgiti, espansioni e allagamenti.

In altri termini, le onde di piena che si formano, per i vari tempi di ritorno presi in considerazione, lungo l'asta principale del Lambro non possono calcolarsi con modelli puramente idrologici, ma devono derivare da una simulazione integrata idrologico – idraulica che coniughi i modelli idrologici adottati per calcolare le onde di piena confluenti dai sottobacini contribuenti (v. Relazione descrittiva dell'*Attività 5.2.1 – Definizione delle portate di piena di riferimento*) con il modello idraulico dell'asta principale.

Per conseguire le migliori possibilità di rappresentazione di tutti tali aspetti della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale in occasione delle piene <sup>1</sup>, si è utilizzato il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Esso, infatti, comprende moduli idonei al caso in oggetto, in funzione del livello di conoscenza, peraltro assai elevato data l'ampiezza delle operazioni topografiche di campo incluse nello studio, della reale geometria dei manufatti e delle aree.

L'attività di modellazione ha riguardato inizialmente le condizioni attuali dell'alveo con la conseguente delimitazione delle aree di allagamento che lungo il tratto si producono per eventi di differente tempo di ritorno (10, 200 e 500 anni).

In Appendice sono riportati i caratteri essenziali del codice di calcolo MIKE 11.

Nel seguito viceversa sono riassunte le schematizzazioni idrauliche poste alla base del modello.

L'asta principale del fiume Lambro è stata rappresentata adottando 640 sezioni, di cui:

-----  
<sup>1</sup> Vedi anche la Relazione Metodologica, Elaborato 5.2.2./1/1R

- 405 sezioni, parte delle quali rilevate all'interno dell'*Attività 5.1.3 -Rilievi topografici di sezioni trasversali dell'alveo* ed altre rilevate all'interno del Progetto Preliminare sul fiume Lambro dal lago di Pusiano a Villasanta della Regione Lombardia nel corso degli anni 1997-1998;
- 93 sezioni poste a rappresentare l'alveo a valle dei ponti (copia delle sezioni d'alveo rilevate a monte del manufatto);
- 93 sezioni chiuse rappresentanti la forma del passaggio sotto i ponti.
- 49 sezioni poste a rappresentare la sezione a monte delle traverse (copia delle sezioni rilevate in corrispondenza del manufatto).

All'interno del modello del Lambro sono state inserite ulteriori sezioni atte a rappresentare alcuni affluenti dello stesso (ad esempio la Bevera di Molteno e il torrente Gandaloglio) ed alcune strutture di particolare interesse modellistico (collettori consortili della rete ovest dell'ALSI S.p.A., che drenano un territorio di 80 km<sup>2</sup>, 46 dei quali urbanizzati, che sono in grado di apportare al Lambro portate duecentennali di 60 m<sup>3</sup>/s).

Di seguito vengono elencate le sezioni utilizzate per rappresentare le diverse entità:

- Lambrone: 16 sezioni (ricavate dal "*Progetto Preliminare sul fiume Lambro dal lago di Pusiano a Villasanta*" della Regione Lombardia – 1998);
- lago di Pusiano: 7 sezioni (sezioni di calcolo non rilevate ed inserite per simulare l'effetto d'invaso del lago);
- lago di Alserio ed emissario Alserio: 5 sezioni (alcune delle quali ricavate dal "*Progetto Preliminare sul fiume Lambro dal lago di Pusiano a Villasanta*" della Regione Lombardia – 1998);
- torrente Bevera di Molteno: 88 sezioni, comprensive di manufatti (ricavate dallo studio di "*Perimetrazione aree a rischio idraulico ai sensi della legge 267/98 del torrente Bevera e Gandaloglio nei comuni di Molteno, Oggiono e Sirone*" – Regione Lombardia – 1999);
- torrente Gandaloglio: 33 sezioni, comprensive di manufatti (ricavate dallo studio di "*Perimetrazione aree a rischio idraulico ai sensi della legge 267/98 del torrente Bevera e Gandaloglio nei comuni di Molteno, Oggiono e Sirone*" – Regione Lombardia – 1999);
- Collettori ALSI S.p.A. rete ovest: 16 sezioni (ricavate dallo "*Studio per la verifica della funzionalità idraulica della rete dei collettori fognari consortili*" – Consorzio Provinciale di Bonifica del Territorio dell'Alto Lambro – 1994).

Complessivamente il modello del fiume Lambro, escluse le aree di allagamento, è costituito da 805 sezioni.

Le onde di piena confluenti nel tratto del Lambro compreso tra il lago di Pusiano e il Deviatore Redefossi sono calcolate nell'*Attività 5.2.1 - Definizione delle portate di piena*



di riferimento per ogni sottobacino ed introdotte nelle simulazioni di moto vario del modello sopra presentato o in modo concentrato, in corrispondenza delle sezioni di confluenza di altri corsi d'acqua e dei principali scaricatori di piena delle reti fognarie, o in modo distribuito in corrispondenza dei bacini naturali afferenti direttamente all'asta principale.

Si riportano in tabella 2 a titolo di sintesi, i soli valori delle portate al colmo delle onde di piena formate dai sottobacini affluenti in funzione dei diversi tempi di ritorno considerati<sup>2</sup>.

**Tabella 2: Portate al colmo e contributi specifici di piena, per i tempi di ritorno 10, 200 e 500 anni**

Bacino	Superficie contrib.	Q max (T=10)	Q max (T=200)	Q max (T=500)
	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
LAM1A	15.4	40.9	34.9 *	34.9 *
REZ	12.1	22.8	24.9 *	24.9 *
FOC	8.1	15.3	16.7 *	16.7 *
BIS	6.8	13.9	14.3 *	14.3 *
RAV	10.1	15.6	20.2 *	20.2 *
BOV	4.7	9.6	9.9 *	9.9 *
LAM1B	7.1	19.8	16.7 *	16.7 *
LAM1C	7.0	17.3	15.4 *	15.4 *
LAM2	22.9	54.6	39.2 *	39.2 *
LAM3A	16.5	59.7	34.2 *	34.2 *
LAM3B	3.2	6.4	3.6 *	3.5 *
LAM4	1.4	5.5	18.3	23.7
LAM5	10.2	16.0	65.4	98.7
BEV1AB	18.3	11.9	28.2	53.5
GAN	11.1	8.7	20.5	40.1
PAS	2.0	0.9	2.1	3.8
BEV1C	10.7	14.2	31.3	69.1
LAM6	10.9	7.7	36.0	50.7
BEV2	18.0	13.9	36.7	63.6
LAM7	4.6	3.9	17.3	24.2
BEV3	19.3	13.9	32.8	52.5
LAM8	11.7	6.2	26.3	34.2
BRO	6.4	4.1	20.4	20.4
CAN	3.1	2.4	12.7	16.9
PEG	10.90	5.9	27.6	41.4
LAM9	11.7	12.9	50.7	71.0
LAM10	4.0	8.9	10.5	10.9
MOL	19.8	3.9	13.2	16.8
LAM11	3.5	7.2	8.8	9.0
LAM12	2.2	4.4	4.4	4.4
LAM13	1.6	2.7	2.8	2.8
LAM14A	1.6	9.0	11.4	11.7
LAM14B	0.9	5.2	6.7	6.9
LAM14C	2.8	15.2	21.0	21.9
LAM14D	0.7	3.9	5.2	5.2
LAM15	6.8	10.0	11.5	11.9
LAM16A	15.4	9.1	10.6	11.0
LAM16B	3.2	5.2	5.8	5.9
LAM16C	7.4	13.0	15.2	15.8

<sup>2</sup> I sottobacini sono rappresentati nell'elaborato 5.2.1/4/1C/LA1

Bacino	Superficie contrib.	Q max (T=10)	Q max (T=200)	Q max (T=500)
	[km <sup>2</sup> ]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
LAM16D	7.2	10.7	12.9	13.4
LAM16E	3.2	7.2	8.4	8.7
LAM16F	3.3	7.2	8.4	8.7
LAM16G	6.5	14.5	18.6	19.5
LAM17	8.0	32.2	69.6	77.5
LAM18	2.3	5.0	5.5	5.6
LAM19A	3.0	6.1	14.0	16.8
LAM19B	3.0	5.9	12.5	14.8
LAM19C	5.0	9.8	23.2	27.8
LAM19D	4.0	8.1	18.7	22.3
LAM20	37.4	10.6	24.3	31.2

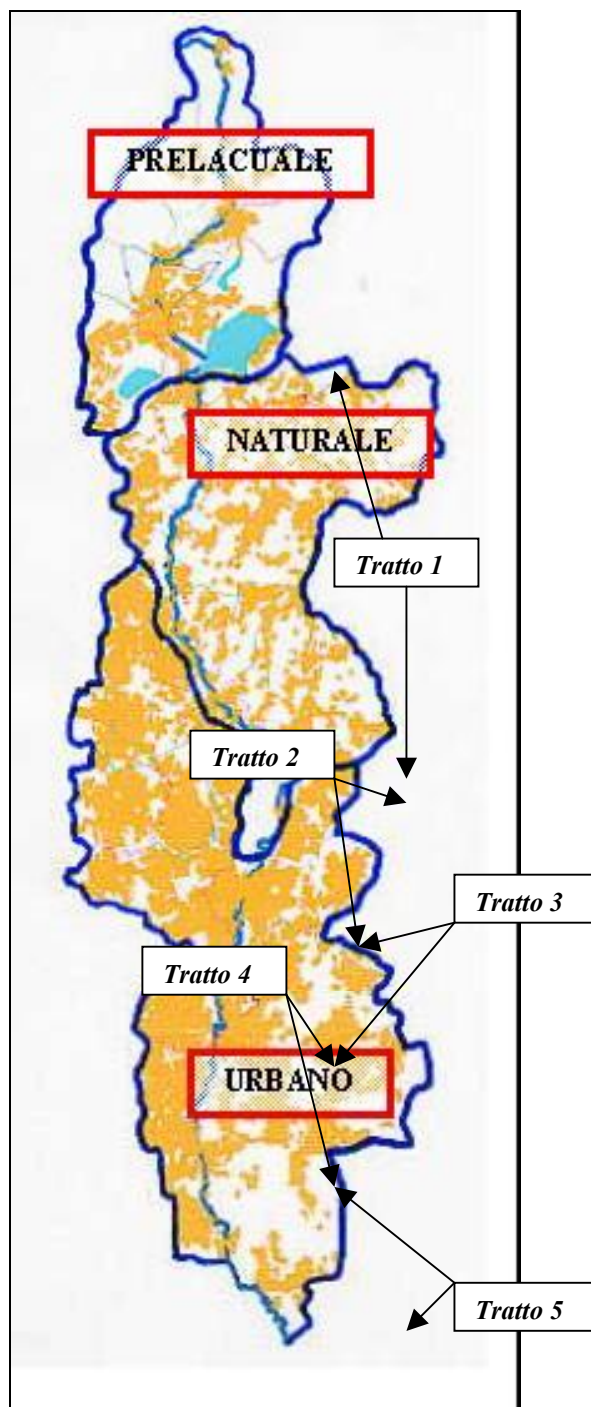
\* evento reale dal 12 novembre 2002 al 1 dicembre 2002, assunto come evento di progetto omogeneo all'evento duecentennale per la zona pre-lacuale (cfr. relazione idrologica)

Dal punto di vista idraulico il fiume Lambro, compreso tra il lago di Pusiano e la confluenza con il Deviatore Redefossi, presenta in sintesi tre tratti a differente comportamento:

- il tratto *prelacuale*, a monte del lago di Pusiano, in cui il fiume ha carattere prevalentemente torrentizio, alveo incassato, forti pendenze, basso livello di urbanizzazione (superficie urbanizzata di 10 km<sup>2</sup>, pari a circa il 10% dell'intero bacino afferente al tratto in oggetto);
- il tratto *naturale*, compreso tra il lago di Pusiano e Villasanta, in cui il fiume scorre principalmente in un alveo abbastanza incassato, salvo alcune zone in cui si verificano aree di allagamento in terreni naturali (Lambrugo, Inverigo, Veduggio, Brioso, Lesmo, ecc.); in tale tratto il livello di urbanizzazione è basso (superficie urbanizzata di 50 km<sup>2</sup>, pari al 30% dell'intero bacino afferente al tratto in oggetto); tale tratto, compreso tra le sezioni LA132.19 e LA100.2 viene di seguito denominato **tratto 1**;
- il tratto *urbanizzato*, in cui il fiume attraversa territori pianeggianti, fortemente antropizzati (superficie urbanizzata di 140 km<sup>2</sup>, pari a circa il 50% dell'intero bacino afferente al tratto in oggetto), in cui sono presenti lunghi tratti canalizzati vincolati da numerosi ponti ed attraversamenti. Tale tratto può essere suddiviso in ulteriori quattro tratti con differente configurazione idraulica:
  - dal ponte di S. Giorgio a Villasanta (LA100.2) al ponte dell'autostrada A4 (LA91), denominato **tratto 2**;
  - dal ponte dell'autostrada A4 (LA91) al ponte della linea metropolitana MM2 a Cascina Gobba (LA81.3), denominato **tratto 3**;
  - dal ponte della linea metropolitana MM2 (LA81.3) al ponte di viale Forlanini a Milano (LA72.4), denominato **tratto 4**;
  - dal ponte di viale Forlanini a Milano (LA72.4) alla confluenza con il Deviatore Redefossi (LA60), denominato **tratto 5**.

Nella figura 1 è riportata la suddivisione del Lambro nei cinque tratti sopra citati.

**Figura 1: Suddivisione del fiume Lambro in tratti omogenei.**



Nel presente studio il tratto prelacuale non è stato analizzato in modo dettagliato a livello idraulico, in quanto non rientra nell'ambito del territorio d'interesse per il tracciamento delle fasce. Come affermato in precedenza, sono state comunque inserite all'interno del modello idraulico del fiume Lambro alcune sezioni del Lambrone, in modo da poter tener in conto gli effetti di sovrapposizione e traslazione dei onde dei diversi sottobacini in cui è stato scomposto l'intero bacino prelacuale.

Nei paragrafi successivi vengono descritti i cinque tratti oggetto del presente studio.

## **2.1 DESCRIZIONE DELLA SCHEMATIZZAZIONE IDRAULICA PER TRATTI**

### **2.1.1 1° tratto “naturale” dal lago di Pusiano a Villasanta – ponte S. Giorgio.**

Il tratto, compreso tra le sezioni LA132.19 e LA 100.2, è caratterizzato da un alveo naturale che a tratti risulta essere abbastanza incassato nel fondovalle e a tratti è affiancato da aree golenali interagenti con l'alveo principale.

Alcuni degli aspetti che influenzano maggiormente il regime idraulico di tale tratto del fiume sono:

- la presenza del lago di Pusiano. Come detto il lago, con estensione di oltre 5 km<sup>2</sup>, influenza notevolmente i livelli idrici e le portate defluenti verso valle in quanto determina, anche mediante le esistenti opere di regolazione, un decisivo effetto di laminazione che limita la portata uscente e determina un'onda di forma molto allungata e piatta;
- la confluenza degli affluenti con contributi talvolta rilevanti che si sommano all'onda lunga in uscita dal lago;
- l'effetto di laminazione delle aree naturali.

È opportuno ricordare che il tratto in oggetto è già stato analizzato dalla Regione Lombardia con il “*Progetto preliminare – Sistemazione fiume Lambro a monte di Villasanta*” in data 1998. Tale progetto, riscontrata l'assoluta esigenza di garantire l'effetto di laminazione da parte di aree naturali allagabili e di casse d'espansione, oltre alla già citata laminazione assicurata dal lago di Pusiano, ha previsto il mantenimento e la regolazione (con formazione di strutture di controllo dei deflussi) delle seguenti aree di laminazione naturale:

- a monte di Molteno sul torrente Bevera (invaso ~ 350.000 m<sup>3</sup>),
- sul fiume Lambro tra Merone e Briosco (invaso ~ 800.000 m<sup>3</sup>)
- e la realizzazione delle seguenti casse di espansione:
- casse di espansione a Molteno (capacità di accumulo totale di 750.000 m<sup>3</sup>),
- cassa di espansione sul torrente Bevera di Molteno poco a monte della confluenza in Lambro (volume complessivo di circa 1.400.000 m<sup>3</sup>; attualmente è stato realizzato solo un primo lotto di circa 60.000 m<sup>3</sup>),

- cassa di espansione sul torrente Bevera di Renate poco a monte della confluenza in Lambro in frazione Fornaci. (volume complessivo di 500.000 m<sup>3</sup>).

Nelle simulazioni riferite allo stato attuale, si è tenuto conto della sola piccola cassa d'espansione già realizzata a Merone e delle aree di espansione naturale a Molteno e a Inverigo. Viceversa nella simulazione degli interventi di progetto, si è tenuto conto della futura presenza di tutte le suddette espansioni e capacità di invaso. In tutti tali casi nel modello sono state inserite apposite sezioni atte a rappresentare i volumi d'invaso e le opere di regolazione ad esse attinenti.

Il modello del tratto 1 dell'asta fluviale è composto da 297 sezioni di cui 218 rilevate e 79 utili alla descrizione dei manufatti (ponti e traverse), per una lunghezza complessiva di circa 30 km.

Il dislivello complessivo è pari a circa 90 m e la pendenza media è pari allo 0,3 %.

Le opere di attraversamento rilevate lungo il tratto in esame sono 28 (in media una ogni 1.070 m), per le quali sono stati introdotti nel modello 28 tombotti ("culvert") e 28 sfioratori ("weir"). I primi riproducono la luce di deflusso sotto il manufatto, i secondi rappresentano lo sfioro sopra l'impalcato. Le strutture introdotte, tombotti e sfioratori, sono vincolate da coefficienti che ne riproducono le perdite di carico per le situazioni di imbocco, sbocco e funzionamento in pressione. Generalmente per le perdite di carico si sono applicati i valori standard del modello ad eccezione di alcuni casi in cui le operazioni di taratura ne hanno imposto la modifica.

Nel tratto in esame sono presenti 23 manufatti trasversali (traverse fluviali, briglie, salti di fondo, ecc); il dislivello complessivo di tali manufatti è di 26 m, pari a circa il 28% del dislivello complessivo del tratto.

Come detto l'alveo in esame risulta essere abbastanza inciso rispetto alle porzioni di territorio circostante (ad esclusione di alcune zone in cui il corso d'acqua attraversa il territorio dei comuni di Lambrugo, Nibionno, Inverigo, Veduggio). Nelle zone in cui il corso d'acqua è incassato nel fondovalle si ha una corrente prevalentemente monodimensionale, caratterizzata da un unico livello idrico per l'alveo e le eventuali aree golenali interessate da esondazioni contenute, con conseguenti perdite nulle dal punto di vista dei volumi per tutta la durata dell'evento. In questo caso le aree golenali possono essere modellate come parte integrante delle sezioni trasversali del corso d'acqua (tipico delle zone contraddistinte da aree golenali direttamente interagenti con l'alveo principale). Per tali comportamenti idraulici e per le zone per cui non si verificano esondazioni, si è usato uno schema di tipo monodimensionale.

La schematizzazione monodimensionale è stata quindi utilizzata nei seguenti tratti:

- dalla sezione LA132.19 (uscita del Lago di Pusiano) alla sezione LA127 (Ponte di via Dante a Costa Masnaga);
- dalla sezione LA122 (a monte del ponte della strada comunale di Inverigo LA121.2) alla sezione LA120.1 (ponte di via Camisasca ad Inverigo);

- dalla sezione LA118 (confluenza con la Bevera di Renate) alla sezione LA101.2 (traversa della frazione S. Giorgio di Villasanta).

In tali tratti si assiste pertanto nel modello ad una propagazione dell'onda di piena senza particolari modifiche di forma o valore del colmo se non per gli apporti dei bacini laterali (concentrati e distribuiti).

Per quanto riguarda i tratti in cui il corso d'acqua non risulta inciso e attraversa un fondovalle abbastanza ampio con possibilità di espansione laterale, si è utilizzato lo schema di tipo quasi-bidimensionale: le aree golenali sono schematizzate come corsi d'acqua paralleli all'alveo principale e contribuiscono al deflusso nei limiti che derivano dalle loro caratteristiche idrauliche. Il corso d'acqua principale e le aree golenali sono collegate fra loro attraverso soglie di sfioro, poste nei punti in cui possono verificarsi scambi di portata, sia dal ramo principale verso le golene, sia da queste ultime verso il corso d'acqua.

Nei casi in cui le aree golenali presentino quote inferiori al livello arginale, tale modellazione permette di considerare separatamente le aree di espansione laterale e l'alveo principale sino al momento della tracimazione di quest'ultimo e per il successivo periodo di invaso e di svasso delle aree golenali.

In tal modo se all'interno delle aree golenali esistono aree poste a quote inferiori al livello arginale, esse non influenzano il livello idrico nella sezione d'alveo principale, se non quando si verificano livelli idrici che causano il superamento dell'argine o della sommità spondale.

Tale fenomenologia è ovviamente importante per una realistica rappresentazione dell'effetto degli invasi nel processo di moto vario di propagazione della piena.

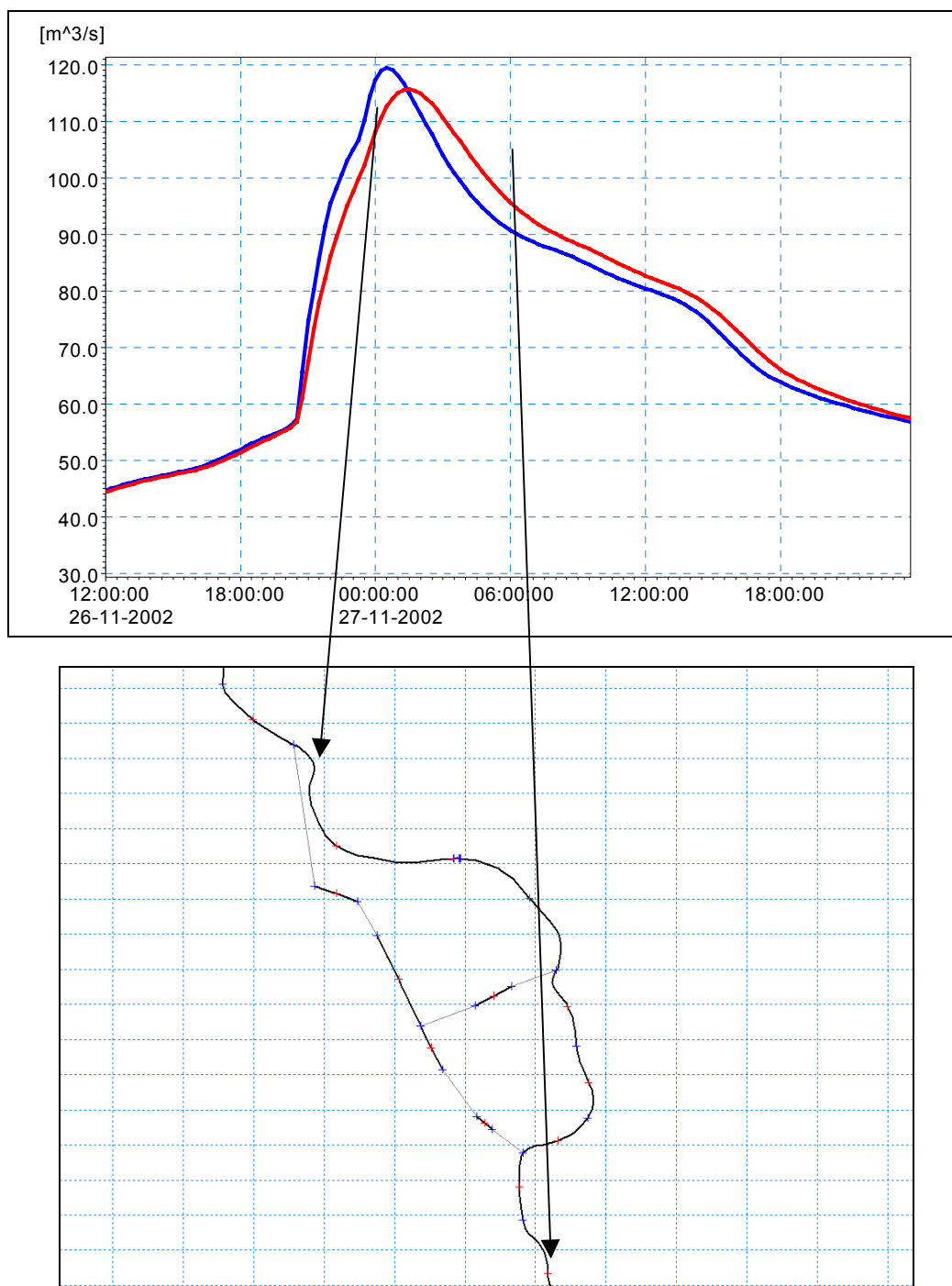
Lo schema quasi-bidimensionale è stato utilizzato nelle seguenti zone:

- a Lambrugo tra la sezione LA126.1 e la sezione LA124.5 in destra idraulica (3 sezioni);
- a Nibionno e a Inverigo tra la sezione LA124.3 e la sezione LA122, in sinistra e in destra idraulica (22 sezioni);
- a Veduggio tra le sezioni LA120.1 e la sezione LA118.1, in sinistra idraulica (4 sezioni);
- a Villasanta, tra le sezioni LA101.2 e la sezione LA100.2, in sinistra e in destra idraulica (6 sezioni); tale schema quasi-bidimensionale prosegue nel parco di Monza (inserito nel tratto urbano per effetto della presenza di scaricatori di piena delle reti urbane).

In tali tratti si assiste ad una deformazione dell'onda di piena per effetto dei fenomeni d'invaso nelle aree golenali, con attenuazione locale dei colmi e appiattimento dell'idrogramma. Un esempio di tale comportamento viene rappresentato nella figura 2.

Particolarmente utile all'individuazione di tali tratti è stata l'analisi dell'evento del novembre 2002 e in dettaglio la ripresa da elicottero eseguita in data 30 novembre dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

**Figura 2: Esempio di laminazione dell'onda di piena per effetto delle aree di espansione naturale – zona di Lambrugo.**



### 2.1.2 2° tratto “urbano” da Villasanta – ponte S. Giorgio al ponte dell’autostrada A4.

Il corso del Lambro compreso tra le sezioni LA100.2 (ponte S. Giorgio di Villasanta) e la sezione LA91 (ponte autostrada A4 Milano-Venezia), di lunghezza complessiva pari a circa 10.2 km (compreso il Lambretto), attraversa il Parco di Monza (3.7 km), il centro storico di Monza (3.5 km) e la zona della Cascinazza a sud di Monza (3 km). In tale tratto l'alveo risulta canalizzato e per la porzione interna al centro storico di Monza risulta delimitato interamente da una serie quasi continua di insediamenti posti a formare le sponde del corso d'acqua.

Alcuni degli aspetti che influenzano maggiormente il regime idraulico di tale tratto del fiume sono:

- la diffusa presenza di manufatti di attraversamento che interferiscono con il deflusso della piena;
- la presenza di numerosi scarichi urbani, alcuni dei quali con contributi rilevanti;
- la presenza di aree naturali (parco di Monza e Cascinazza) di estensione significativa in valore assoluto, ma modesta in rapporto alle volumetrie delle onde di piena attese.

Il modello di questo tratto dell'asta fluviale è composto da 130 sezioni di cui 62 rilevate e 68 utili alla descrizione dei manufatti (ponti e traverse), per una lunghezza complessiva di circa 10 km.

Il dislivello complessivo è pari a 27 m e la pendenza media è pari a circa 0.3 %.

Le opere di attraversamento rilevate lungo il tratto in esame sono 30 (in media una ogni 330 m), per le quali sono stati introdotti nel modello 30 tombotti ("culvert") e 30 sfioratori ("weir"). I primi riproducono la luce di deflusso sotto il manufatto, i secondi rappresentano lo sfioro sopra l'impalcato. Le strutture introdotte, tombotti e sfioratori, sono vincolate da coefficienti che ne riproducono le perdite di carico per le situazioni di imbocco, sbocco e funzionamento in pressione. Generalmente per le perdite di carico si sono applicati i valori standard del modello ad eccezione di alcuni casi in cui le operazioni di taratura ne hanno imposto la modifica.

Nel tratto in esame sono presenti 8 manufatti trasversali (traverse fluviali, briglie, salti di fondo, ecc); il dislivello complessivo di tali manufatti è pari a circa 15 m, pari a circa il 55 % del dislivello complessivo del tratto.

La quasi totalità del tronco in oggetto attraversa un fondovalle ampio con possibilità di espansione laterale, pertanto si è utilizzato lo schema di tipo quasi-bidimensionale: le aree golenali sono schematizzate come corsi d'acqua paralleli all'alveo principale e contribuiscono al deflusso nei limiti che derivano dalle loro caratteristiche idrauliche. Il corso d'acqua principale e le aree golenali sono collegate fra loro attraverso delle soglie di sfioro, poste nei punti in cui possono verificarsi degli scambi di portata, sia dal ramo principale verso le golene, sia da queste ultime verso il corso d'acqua.

Nei casi in cui le aree golenali presentino quote inferiori al livello arginale, tale modellazione permette di considerare separatamente le aree di espansione laterale e l'alveo



principale sino al momento della tracimazione di quest'ultimo e per il successivo periodo di invaso e di svaso delle aree golenali.

In tal modo se all'interno delle aree golenali esistono aree poste a quote inferiori al livello arginale, esse non influenzano il livello idrico nella sezione d'alveo principale, se non quando si verificano livelli idrici che causano il superamento dell'argine o della sommità spondale.

Tale fenomenologia è ovviamente importante per una realistica rappresentazione dell'effetto degli invasi nel processo di moto vario di propagazione della piena.

Lo schema quasi-bidimensionale è stato utilizzato nei seguenti tratti:

- tra la sezione LA100.2 e la sezione LA98 in sinistra e in destra idraulica (parco di Monza, 12 sezioni);
- tra la sezione LA97.3 e la sezione LA96.4, in destra idraulica (parco di Monza, 4 sezioni);
- tra le sezioni LA96.3 e la sezione LA94.1 nel centro di Monza (16 sezioni); in tale tratto i rami laterali, oltre al Lambro, sono 4: uno rappresenta il Lambretto, uno la zona compresa tra Lambro e Lambretto, un altro comprende la zona tra il Lambretto e la linea ferroviaria e l'ultimo rappresenta la zona ad est della linea ferroviaria;
- tra la sezione LA93.3 e la sezione LA91.3, in sinistra idraulica (area compresa tra il Canale Villoresi e la tangenziale di Monza: 8 sezioni).

In tali tratti si assiste ad una deformazione dell'onda di piena per effetto dei fenomeni d'invaso nelle aree golenali, con attenuazione locale dei colmi e appiattimento dell'idrogramma.

### **2.1.3 3° tratto "urbano" dal ponte dell'autostrada A4 fino alla linea metropolitana MM2-Cascina Gobba**

Il corso del Lambro compreso tra la sezione LA91 (ponte autostrada A4 Milano-Venezia) e la sezione LA81.3 (passerella pedonale nei pressi della stazione della metropolitana di Cascina Gobba), attraversa i territori dei comuni di Brugherio, Cologno Monzese e Sesto San Giovanni.

È opportuno ricordare che tale tratto è già stato oggetto da parte del Magistrato per il Po di Parma del progetto esecutivo per i *“Lavori di sistemazione delle opere idrauliche del Lambro Settentrionale nel tronco compreso tra il ponte dell'autostrada MI-BG ed il ponte di innesto alla tangenziale est di C.na Gobba nei comuni di Brugherio e Milano”* – 1989 ÷ 1997.

Il progetto prevedeva l'adeguamento dell'alveo attraverso la ricalibratura delle sezioni trasversali al fine di garantire il deflusso di una portata di massima piena pari a 520 m<sup>3</sup>/s, con un franco non inferiore a 50 cm; tale progetto non prevedeva peraltro l'adeguamento

delle opere di attraversamento. Di tale progetto sono state realizzate le opere relative ai primi due stralci, mentre non sono state realizzate le opere relative al terzo stralcio, che comprendono il tratto di alveo tra le sezioni LA91 (ponte A4) e LA85.5 (tra Cologno Monzese e la cava di Sesto San Giovanni) e il tratto compreso tra le sezioni LA83.2.1 (ponte stradale dello svincolo della tangenziale a Cologno Monzese) e LA81.5 (ponte dello svincolo della tangenziale di Palmanova a Cascina Gobba).

Alcuni degli aspetti che influenzano maggiormente il regime idraulico di tale tratto del fiume sono:

- la presenza di manufatti di attraversamento che interferiscono con il deflusso della piena;
- la presenza di alcuni scarichi urbani, alcuni dei quali con contributi rilevanti;
- alternanza di tratti con ridotta capacità idraulica (tratto tra il ponte dell'A4 e il ponte di S. Maurizio a Cologno Monzese) e tratti con notevole capacità idraulica (quelli oggetto degli interventi legati ai primi due stralci del progetto sopra richiamato del Magistrato per il Po di Parma).

Il modello di questo tratto di asta fluviale è composto da 65 sezioni, di cui 41 rilevate e 24 utili alla descrizione dei manufatti (ponti e traverse), per una lunghezza complessiva di circa 7.8 km.

Il dislivello complessivo è pari a circa 19 m e la pendenza media è pari a circa 0.2 %.

Le opere di attraversamento rilevate lungo il tratto in esame sono 14 (in media una ogni 560 m), per le quali sono stati introdotti nel modello 11 tombotti ("culvert") e 11 sfioratori ("weir"), in quanto tre ponti hanno una struttura tale da non interferire con il deflusso di piena.

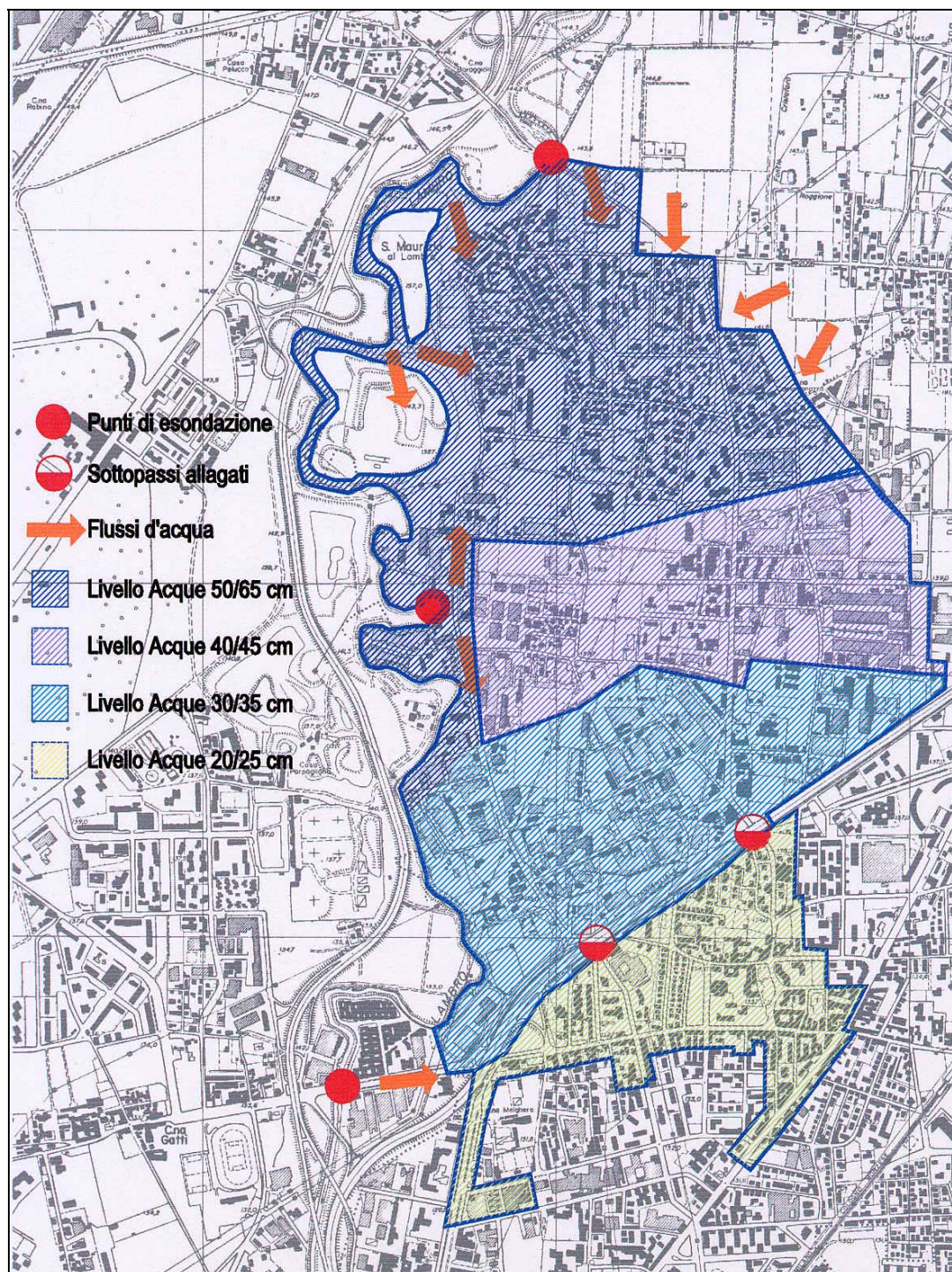
Le strutture introdotte, tombotti e sfioratori, sono vincolate da coefficienti che ne riproducono le perdite di carico per le situazioni di imbocco, sbocco e funzionamento in pressione. Generalmente per le perdite di carico si sono applicati i valori standard del modello ad eccezione di alcuni casi in cui le operazioni di taratura ne hanno imposto la modifica.

Nel tratto in esame sono presenti 2 manufatti trasversali (traverse fluviali, briglie, salti di fondo, ecc); il dislivello complessivo di tali manufatti è di 3 m, pari a circa il 16 % del dislivello complessivo del tratto.

Per il presente tratto si è utilizzato uno schema quasi-bidimensionale nella zona compresa tra il ponte di S. Maurizio al Lambro (Cologno Monzese) e il Naviglio Martesana, in quanto, soprattutto in seguito a quanto accaduto durante l'evento di piena del novembre 2002, si è constatato che il territorio del comune di Cologno Monzese viene interessato, durante eventi di piena, da vaste aree di allagamento; pertanto lo schema quasi-bidimensionale si estende in sinistra idraulica dalla sezione LA90.1 fino alla sezione LA82.3, a monte del ponte canale del Naviglio della Martesana (7 sezioni).

In figura 3 è riportato lo schema di esondazione con le direttrici di flusso fuori alveo, ricostruito dal Comune a seguito dell'evento del novembre 2002.

**Figura 3: Esondazione Comune di Cologno – novembre 2002 (fonte Comune di Cologno Monzese)**





Il restante tratto, tra il Naviglio della Martesana (LA82.3) e il ponte di Cascina Gobba (LA81.5), è caratterizzato da una corrente prevalentemente monodimensionale, caratterizzata da un unico livello idrico per l'alveo e le aree golenali interessate da esondazioni. In questo caso le aree golenali vengono quindi modellate come parte integrante delle sezioni trasversali del corso d'acqua (tipico delle zone con aree golenali direttamente interagenti con l'alveo principale). In tali tratti si assiste pertanto nel modello ad una propagazione dell'onda di piena senza particolari modifiche di forma o valore del colmo.

#### **2.1.4      4° tratto “urbano” dalla linea metropolitana MM2-Cascina Gobba al ponte di viale Forlanini - Milano**

Il corso del Lambro compreso tra la sezione LA81.3 (passerella pedonale nei pressi della stazione della metropolitana di Cascina Gobba) e la sezione LA72.4 (ponte stradale di viale Forlanini a Milano), attraversa il territorio del comune di Milano.

Alcuni degli aspetti che influenzano maggiormente il regime idraulico di tale tratto del fiume sono:

- la presenza di manufatti di attraversamento che interferiscono con il deflusso della piena;
- la presenza di alcuni scarichi urbani, alcuni dei quali con contributi rilevanti;
- presenza di tratti con ridotta capacità idraulica;
- presenza di alcune aree di espansione naturale (parco Lambro);
- edificazione quasi continua di insediamenti sulle sponde del corso d'acqua.

Il modello di questo tratto di asta fluviale è composto da 89 sezioni, di cui 44 rilevate e 45 utili alla descrizione dei manufatti (ponti e traverse), per una lunghezza complessiva di circa 5.9 km.

Il dislivello complessivo è pari a circa 17 m e la pendenza media è pari a circa 0.3 %.

Le opere di attraversamento rilevate lungo il tratto in esame sono 18 (in media una ogni 330 m), per le quali sono stati introdotti nel modello 18 tombotti (“culvert”) e 18 sfioratori (“weir”).

Le strutture introdotte, tombotti e sfioratori, sono vincolate da coefficienti che ne riproducono le perdite di carico per le situazioni di imbocco, sbocco e funzionamento in pressione. Generalmente per le perdite di carico si sono applicati i valori standard del modello ad eccezione di alcuni casi in cui le operazioni di taratura ne hanno imposto la modifica.

Nel tratto in esame sono presenti 9 manufatti trasversali (traverse fluviali, briglie, salti di fondo, ecc); il dislivello complessivo di tali manufatti è pari a circa 11 m, pari a circa il 65 % del dislivello complessivo del tratto.

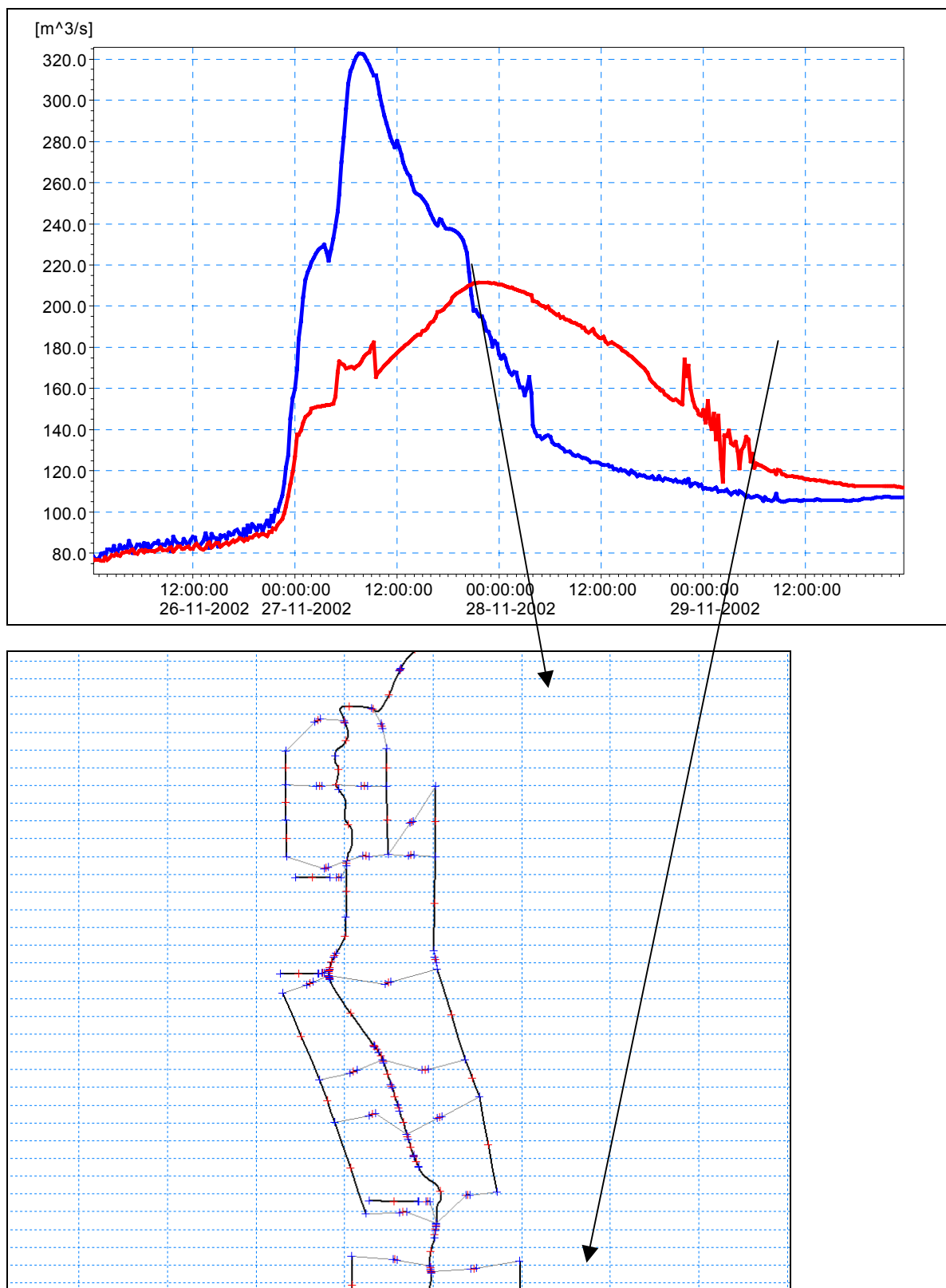
Tale dato risulta assai rilevante se confrontato con gli analoghi relativi ai tratti precedenti.

Per l'intero tratto si è utilizzato uno schema quasi-bidimensionale, ad eccezione della porzione che scorre nella zona di Crescenzago a monte del Parco Lambro (schema monodimensionale con aree golenali considerate come parte integrante delle sezioni trasversali del corso d'acqua) e del tratto di fiume in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario della linea Milano-Treviglio, al di sotto del quale la piena è costretta a defluire, senza possibilità di aggirare o scavalcare il manufatto a causa delle dimensioni dello stesso e dell'intero rilevato ferroviario.

In particolare i rami laterali sono stati individuati nelle seguenti zone: Parco Lambro (tra le sezioni LA79.2 e LA78, in sinistra e destra idraulica, 7 sezioni), Lambrate – Milano (tra le sezioni LA77.3 e LA74.1, in sinistra e destra idraulica, 11 sezioni), Ortica e Parco Forlanini – Milano (tra le sezioni LA73.1 e LA72.4, in sinistra e in destra idraulica, 6 sezioni).

In figura 4 è riportata la deformazione dell'onda dovuta, come detto in premessa, all'azione della sezione di controllo del ponte al servizio della linea ferroviaria Milano-Treviglio. Tale deformazione risulta più rilevante in termini di abbattimento del colmo, per i motivi già espressi e connessi alla modesta volumetria delle onde apportate dagli scarichi urbani rispetto al corpo dell'onda defluente dalla zona pre-lacuale e naturale.

**Figura 4: Confronto fra l'onda in ingresso al tratto, al Parco Lambro (di colore blu) e l'onda transitante al di sotto della linea ferroviaria Milano-Treviglio (di colore rosso)**



### **2.1.5     5° tratto “urbano” dal ponte di viale Forlanini – Milano alla confluenza con il Deviatore Redefossi**

Il corso del Lambro compreso tra la sezione LA72.4 (ponte stradale di viale Forlanini a Milano) e la sezione LA60 (confluenza con il Deviatore Redefossi), attraversa il territorio dei comuni di Milano, Peschiera Borromeo, San Donato Milanese e San Giuliano Milanese.

Alcuni degli aspetti che influenzano maggiormente il regime idraulico di tale tratto del fiume sono:

- presenza di manufatti di attraversamento che interferiscono con il deflusso della piena;
- presenza di alcuni scarichi urbani, alcuni dei quali con contributi rilevanti;
- presenza di numerosi salti di fondo;
- presenza di tratti con ridotta capacità idraulica;
- nella prima parte l'alveo è canalizzato e scorre all'interno di una fascia in cui la pressione antropica è inferiore rispetto ai tratti precedenti (tratto 3 e 4), mentre la parte terminale è inserita all'interno del Parco Agricolo Sud Milano.

Il modello di questo tratto di asta fluviale è composto da 59 sezioni, di cui 40 rilevate e 19 utili alla descrizione dei manufatti (ponti e traverse), per una lunghezza complessiva di circa 10.3 km.

Il dislivello complessivo è pari a circa 18 m e la pendenza media è pari a circa 0.2 %.

Le opere di attraversamento rilevate lungo il tratto in esame sono 6 (in media una ogni 1.700 m), per le quali sono stati introdotti nel modello 6 tombotti (“culvert”) e 6 sfioratori (“weir”). Si nota il diradarsi dei manufatti in seguito all'uscita dalla zona di maggiore urbanizzazione del fiume.

Le strutture introdotte, tombotti e sfioratori, sono vincolate da coefficienti che ne riproducono le perdite di carico per le situazioni di imbocco, sbocco e funzionamento in pressione. Generalmente per le perdite di carico si sono applicati i valori standard del modello ad eccezione di alcuni casi in cui le operazioni di taratura ne hanno imposto la modifica.

Nel tratto in esame sono presenti 7 manufatti trasversali (traverse fluviali, briglie, salti di fondo, ecc); il dislivello complessivo di tali manufatti è pari a circa 14 m, pari a circa il 78 % del dislivello complessivo del tratto.

Come per il tratto precedente, la deformazione del profilo di fondo indotta negli anni e oggi parte integrante del corso d'acqua è il dato più rilevante a livello di caratterizzazione idraulica.

Per l'intero tratto si è utilizzato uno schema quasi-bidimensionale, ad eccezione del tratto a valle dell'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo.

In particolare, i rami laterali sono stati individuati nelle seguenti zone: Monluè, Ponte Lambro - Milano (tra le sezioni LA72.2 e LA69, in destra idraulica, 8 sezioni), Linate – Milano e Peschiera Borromeo (tra le sezioni LA72.2 e LA63.1, in sinistra idraulica, 11 sezioni), San Donato Milanese (tra le sezioni LA69 e LA63.1 in destra idraulica, 3 sezioni).

## **2.1.6      Conclusioni**

Considerando tutti gli elementi indicati nei paragrafi precedenti e prendendo come riferimento l'intera asta fluviale, si ottengono le caratteristiche complessive del modello:

- lunghezza complessiva asta fluviale: 63.8 km
- dislivello: 173 m;
- pendenza media: 0.27 %;
- n. sezioni rilevate: 405 (43 % delle sezioni totali del modello);
- n. ponti modellati: 93 (in media uno ogni 690 m);
- n. traverse modellate: 49 (in media una ogni 1'300 m);
- dislivello traverse: 69 m (40% dislivello totale);
- n. sezioni utilizzate per rappresentare i manufatti: 235 (25 % delle sezioni totali del modello);
- n. sezioni utilizzate per rappresentare affluenti (naturali e artificiali): 165 (18 % delle sezioni totali del modello);
- n. sezioni utilizzate nei rami laterali per rappresentare lo schema quasi-bidimensionale: 128 (14 % delle sezioni totali del modello)
- n. sezioni totali del modello idraulico: 933.



## 2.2 ASPETTI DI DETTAGLIO DEL MODELLO IDRAULICO

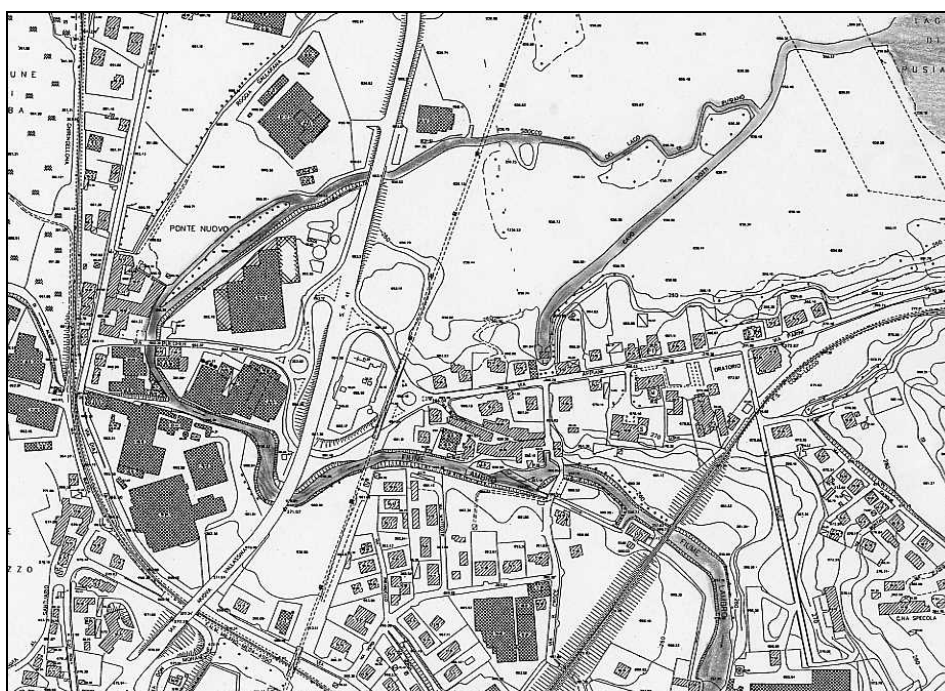
A fianco di una definizione di modello idraulico per tratti si sono studiate strutture e situazioni particolari dell'ambito in oggetto con riflesso diffuso sull'intera asta. Nel seguito sono descritte tali situazioni.

### 2.2.1 Lago di Pusiano (con cavo Diotti) e lago di Alserio

La configurazione idraulica dell'incile del fiume Lambro dal lago di Pusiano risulta piuttosto complessa. Essa è infatti costituita da un ramo naturale ed un canale artificiale posti in parallelo (cfr. figura 5). Il primo sulla destra è il percorso naturale che attraversa l'abitato di Merone per circa 1,5 km (dalla sezione LA132.19 alla sezione LA132.9) prima di ricongiungersi con il secondo (in corrispondenza della sezione LA132.9), sulla sinistra, realizzato artificialmente attorno al 1870 per utilizzare il salto geodetico, e conosciuto come "Cavo Diotti", che con un percorso decisamente più breve (circa 600 m) conduce le acque del Lambro in uscita dal lago (dalla sezione LA132.18) verso un'opera di regolazione munita di due paratoie.

Il ramo naturale transita in una zona che, oltre a presentare un profilo di fondo sub-orizzontale, è molto pianeggiante, in parte paludosa e priva di protezioni arginali. Il tracciato del fiume Lambro nella zona risulta caratterizzato da sezioni insufficienti per gli eventi di piena, molto intrecciato e ramificato. Tale zona, a monte del ponte della SP 41, è una vasta area esondabile che, in caso di piena, è più facile considerare normale espansione del lago di Pusiano piuttosto che fiume Lambro. Il ponte della S.P. 41 può pertanto essere considerato la sezione di inizio del Lambro sublacuale in condizioni di normale invaso.

**Figura 5: Ramo naturale e artificiale del Lambro in uscita dal lago di Pusiano**



Il modello ha messo in evidenza come il livello del lago di Pusiano sia controllato dal sistema di opere idrauliche poste tra la sezione LA132.9.1 e la sezione LA132.6.1. In particolare in tale nodo idraulico sono presenti tre traverse a soglia fissa (due in corrispondenza della sezione LA132.9.1, mentre la terza è in corrispondenza della sezione LA132.6.1), uno stramazzo tipo Hegly (nei pressi delle due traverse, in destra idraulica, non inserito nella modellazione per le ridotte portate che lo interessano) su un'antica derivazione laterale, una chiusa al di sotto di un porticato gestita da privati. Subito al piede delle due traverse localizzate in prossimità della sezione LA132.9.1 avviene anche la ricongiunzione con il Cavo Diotti.

Sono proprio le due traverse insieme allo stramazzo e alla piccola chiusa a governare il livello del lago di Pusiano per effetto del profilo di corrente lenta rigurgitata indotto dalle due traverse.

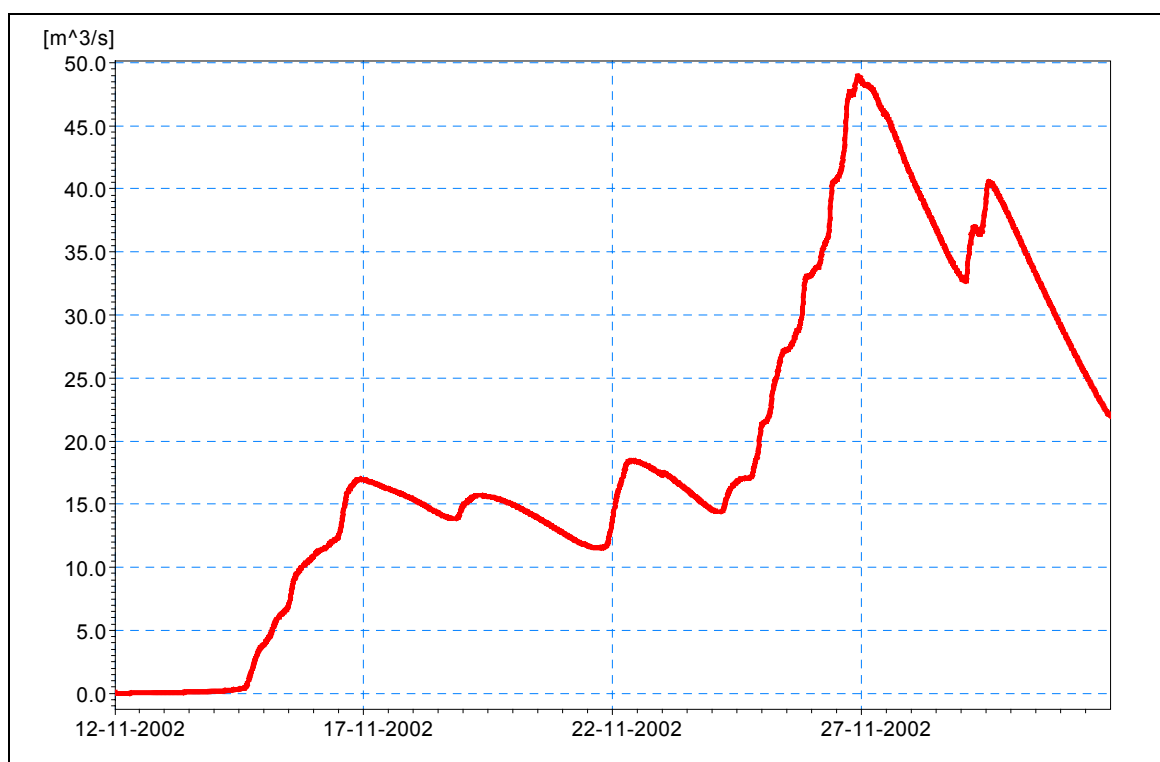
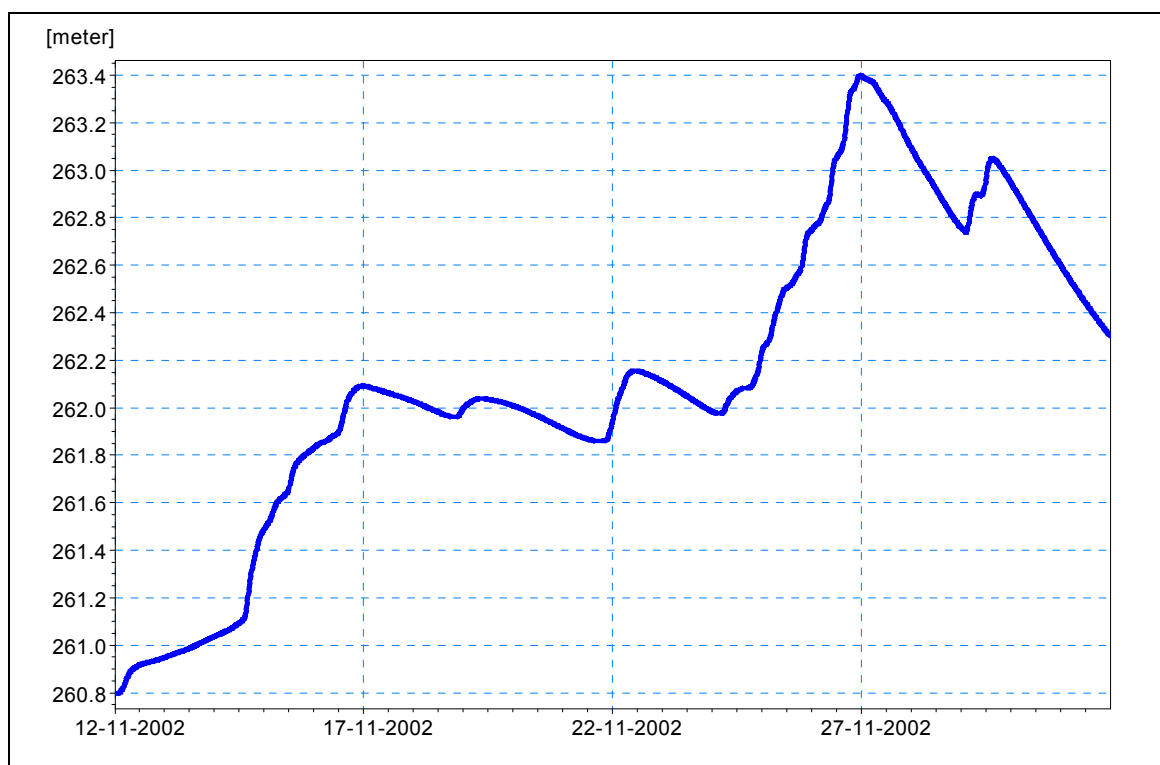
La quota di sommità della traversa maggiore è pari a 260,16 m s.m. mentre la sezione di uscita dal Lago di Pusiano presenta una quota di fondo di 258,50 m s.m. Tra di esse sono presenti anche alcune sezioni rilevate con il fondo alveo a quota maggiore fino a 260,61 m s.m. in prossimità dell'attraversamento di un ponte tubo. Risulta quindi accertato come oggi non possa svasarsi naturalmente il lago al di sotto della quota di 260,61 m s.m.

Nel citato *Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta* si evidenziava come la massima portata uscente naturalmente dal Lago di Pusiano fosse pari a circa 10 m<sup>3</sup>/s in corrispondenza di un livello nel lago pari a 262,18 m s.m., praticamente prossimo alla quota della piazza di Pusiano. In realtà l'attuale modello ha permesso di interpretare più correttamente il funzionamento di tale nodo idraulico, anche alla luce di quanto accaduto durante l'evento del 2002, per il quale si è ricavata una portata al colmo pari a 48 m<sup>3</sup>/s e un livello nel lago pari a 263,4 m s.m..

È da considerare che per tale livello di fatto la superficie del lago si può considerare estesa oltre il ponte della S.P. 41, con una leggera perdita di quota, e che pertanto la sezione di uscita diventa il Ponte Nuovo in Comune di Merone.

In figura 6 è riportato l'andamento dei livelli nel lago di Pusiano e l'idrogramma in uscita dal lago.

**Figura 6: Livelli del lago di Pusiano e portate in uscita**



Il by-pass costituito dal “Cavo Diotti” o “Cavo Reale” fu costruito in epoca napoleonica a cavallo tra il 1809 e il 1811 con la funzione di collegare il lago di Pusiano al fiume Lambro al fine di sfruttare l’acqua derivata. L’opera di regolazione che controlla il funzionamento idraulico del Cavo è composta di due paratoie in parallelo, munite entrambe di motore elettrico di movimentazione, la cui quota di fondo è posta a 258,14 m s.m.. In realtà il cavo Diotti, che si separa dall’uscita naturale del Lago di Pusiano poco a valle del termine del Lago, è in grado di svuotare il lago stesso fino alla quota di 259,59 m s.m. (dal rilievo della Regione Lombardia).

Le portate transitanti per tale ramo dipendono sia dal grado di apertura delle paratoie che dalle caratteristiche delle altre componenti il sistema di uscita dal lago di Pusiano. Infatti il livello nella vasca posta a valle delle paratoie risente dell’effetto di rigurgito provocato dalla totalità delle portate naturale e regolata nel passaggio attraverso il ponte stradale subito a valle delle traverse.

Nel tratto del fiume Lambro in Comune di Merone (CO) compreso tra l’uscita del Lago di Pusiano fino al citato nodo idraulico composto da più soglie e stramazzi, il fiume Lambro riceve da destra la confluenza dell’emissario del lago di Alserio.

L’uscita naturale del lago, posta in una zona paludosa e poco accessibile, è costituita da una sezione prossima alla forma rettangolare, di larghezza pari a circa 6,5 m e con quota di fondo pari a 259,93 m s.m.

Il modello prevede in uscita dal lago di Alserio una portata al colmo pari a  $7 \text{ m}^3/\text{s}$ , a cui si somma in uscita il bacino urbano del comune di Erba, pertanto in ingresso al Lambro, a monte della sezione LA132.12 si ha una portata al colmo pari a  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il modello è stato quindi implementato con ulteriori sezioni per completare il suddetto nodo idraulico:

- lago di Pusiano, 7 sezioni (sezioni di calcolo non rilevate);
- Cavo Diotti, 15 sezioni, alcune delle quali ricavate dal “*Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*”;
- lago di Alserio e l’emissario omonimo, 5 sezioni, alcune delle quali ricavate dal “*Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*”.

### 2.2.2 NAM urbani: schema idraulico di simulazione delle reti fognarie

Come anticipato in premessa, l'ambito Lambro-Olona presenta una stretta connessione idrologico-idraulica tra rete naturale e sistema di drenaggio urbano.

Al fine di tenere in conto gli effetti di laminazione ed invaso dettati dai limiti delle reti di drenaggio urbano in ambiti pianeggianti, si è introdotta la struttura idraulica "NAM urbano".

Per simulare il comportamento degli scaricatori di piena delle fognature urbane, scaricanti direttamente nel fiume, sono stati costruiti rami secondari collegati al ramo principale attraverso sfioratori ("link channel"). Per quanto concerne il punto di vista idrologico si rimanda alla relazione specifica. Dal punto di vista idraulico i componenti principali dei NAM urbani sono essenzialmente:

- 4 sezioni rettangolari, con caratteristiche geometriche uguali e disposte in successione alla stessa quota;
- 1 link channel, con la funzione di sfioratore laterale;
- 1 tombotto, con funzione di limitatore di portata;
- 1 bacino, concentrato nella sezione di ingresso del ramo.

La lunghezza dell'asta, la larghezza e l'altezza delle sezioni, la quota dello sfioratore laterale, dipendono da un coefficiente volumetrico, uguale a  $1.000 \text{ m}^3/\text{km}^2$ , derivante da studi su numerose reti fognarie del Nord-Milano ed indicante il volume interno medio della rete di drenaggio urbano per ogni chilometro quadro di superficie urbana servita.

In pratica la struttura idraulica NAM urbano è costruita in modo tale che vengano scaricati nell'asta principale idrogrammi con portata al colmo limitata dalla capacità della rete e volumi dipendenti dalla reale durata e intensità della precipitazione. Procedendo con questa modalità si evita la sovrastima della portata al colmo e del volume invasato nel ramo principale del Lambro.

La particolare struttura del corso d'acqua in ambito urbano (racchiuso tra muri spondali) e del territorio (pianeggiante con numerose infrastrutture che ostacolano i deflussi superficiali) e l'assenza di reticolo di drenaggio naturale secondario, implicano di fatto il seguente regime idraulico delle zone urbane:

- nella prima fase dell'evento le reti fognarie apportano contributi illimitati al corso d'acqua;
- al crescere delle portate si assiste ad una progressiva crisi del sistema urbano con funzionamenti in pressione di tratti sempre più estesi di rete e formazione di allagamenti superficiali. In questa fase vengono saturate le capacità di invaso in rete e spesso i deflussi superficiali trovano recapito in zone più depresse. La portata scaricata dalle reti tende pertanto a stabilizzarsi pur al crescere degli afflussi;

- al decrescere dell'evento meteorico si assiste ad una persistenza del valore di portata al colmo scaricata sino a riassorbimento parziale dei volumi esondati e rimasti in loco e quindi allo svuotamento degli invasi di rete.

Tale schema idraulico di fatto si traduce in un funzionamento per cui:

- il valore di portata al colmo scaricata nel corso d'acqua è limitato dalla capacità della rete;
- la rete, sulla base della sua estensione, garantisce un accumulo di volume che viene restituito in coda all'evento;
- i volumi esondati sul piano campagna vengono parzialmente persi in quanto recapitati in zone ove non esiste drenaggio naturale o artificiale verso il corso d'acqua.

La struttura idraulica NAM-urbano, pensata appositamente per il presente studio e tarata su misurazioni fognarie nell'ambito milanese simula, in forma semplificata, tale regime.

Per l'asta del fiume Lambro i dati reperiti e gli studi condotti hanno portato ad assumere con limite generalizzato della capacità di scarico delle attuali reti il valore di 2 anni di tempo di ritorno, fatto salvo per i comuni di Monza, Sesto San Giovanni e Milano, le cui reti sono in grado di convogliare portate più elevate.

Tale fattore è legato alla struttura delle reti ed alla conformazione dei terreni serviti, posti in genere a ridosso del corso d'acqua con quote tuttavia elevate rispetto al fondo alveo.

Il bacino che alimenta il NAM urbano ha un'estensione uguale alla superficie del territorio urbanizzato di cui si vuole simulare il funzionamento del sistema fognario. Il meccanismo di formazione della portata avviene utilizzando lo stesso modulo di calcolo utilizzato per i bacini naturali (modulo NAM), ovviamente con differenti valori dei coefficienti idrologici: ad esempio, il valore del parametro L, spessore del serbatoio sotterraneo, assume per i bacini naturali valori compresi tra 100 e 200 mm, nel caso dei bacini urbani assume un valore inferiore pari a 5 mm.

### **2.2.3 Delimitatori d'alveo**

La definizione del tipo di comportamento idraulico più adatto da attribuire ad uno specifico tronco fluviale viene effettuata delimitando, nelle sezioni del modello, i confini dell'alveo principale e delle aree golenali con appositi delimitatori predefiniti, denominati "marker".

Il modello di calcolo MIKE11 permette di utilizzare svariati tipi di delimitatori, aventi funzionalità differenti. Per la modellazione del fiume Lambro sono state utilizzate principalmente solo 3 tipologie:

- marker 1 – delimita il confine sinistro della sezione fluviale;
- marker 2 – indica il punto più depresso della sezione fluviale "thalweg";

- marker 3 – delimita il confine destro della sezione fluviale;

I marker 1 e 3, determinano l'ampiezza massima della sezione di calcolo idraulico, la quale risulta confinata verticalmente entro tali delimitatori.

Il marker 2, permette al programma di calcolare la pendenza tra due sezioni adiacenti.

#### **2.2.4 Perdite di carico concentrate**

I tratti studiati sono caratterizzati da numerosi manufatti (ponti e traverse) che interferiscono con il libero deflusso della corrente. I livelli di piena sono stati calcolati considerando l'effetto di ciascuna singolarità in termini di perdita di carico e rigurgito. Le perdite di carico relative all'imbocco ed allo sbocco da un ponte, nonché le medesime perdite inerenti lo scavalco dell'impalcato, sono state fissate per ogni singolo manufatto nella fase di taratura, in funzione dei dati idrometrici registrati ed in funzione della tipologia del ponte (forma, orientamento, stato della sezione).

#### **2.2.5 Affluenti naturali**

Oltre alla richiamata asta principale del fiume Lambro, è risultato necessario procedere anche ad una modellazione idraulica semplificata di alcuni affluenti del Lambro, in particolare, come già anticipato all'inizio del presente capitolo sono stati presi in considerazione:

- torrente Lambrone (bacino sotteso pari a 71 km<sup>2</sup>);
- torrente Bevera di Molteno e torrente Gandaloglio (bacino sotteso complessivo pari a 42 km<sup>2</sup>).

Per tali affluenti si è utilizzata una modellazione meno dettagliata, non essendo richiesta la delimitazione delle fasce fluviali, ma tuttavia sufficientemente attendibile per la riproduzione delle onde di piena che tali affluenti recapitano rispettivamente nel lago di Pusiano e nel Lambro tra Merone e Lambrugo.

Il modello del torrente Lambrone è costituito da 16 sezioni, situate in corrispondenza di alcuni manufatti di attraversamento, ricavate dal *“Progetto Preliminare sul fiume Lambro dal lago di Pusiano a Villasanta”* della Regione Lombardia – 1998; il tratto modellato si estende per una lunghezza complessiva pari a circa 20 km.

Il modello del torrente Bevera di Molteno è costituito da 88 sezioni, comprensive di 14 manufatti, delle quali la maggior parte sono state ricavate dallo studio di *“Perimetrazione aree a rischio idraulico ai sensi della legge 267/98 del torrente Bevera e Gandaloglio nei comuni di Molteno, Oggiono e Sirone”* – Regione Lombardia – 1999 ed altre sono state ricavate dalla cartografia disponibile; il tratto modellato ha origine nel comune di Molteno e si estende fino alla confluenza con il fiume Lambro, per una lunghezza complessiva pari a circa 8 km.

Il modello del torrente Gandaloglio è costituito da 33 sezioni, comprensive di 8 manufatti, ricavate dallo studio di *“Permetrazione aree a rischio idraulico ai sensi della legge 267/98 del torrente Bevera e Gandaloglio nei comuni di Molteno, Oggiono e Sirone”* – Regione Lombardia – 1999; il tratto modellato ha origine nel comune di Oggiono e si estende fino alla confluenza con la Bevera di Molteno, per una lunghezza complessiva di circa 2 km.

Data la rilevanza dei bacini in oggetto (71 e 42 km<sup>2</sup>), l’assunzione di un valore idrologico che non tenesse conto degli effetti di sovrapposizione delle onde nei sottobacini, di traslazione lungo l’asta e della reale capacità d’alveo, avrebbe di fatto contrastato con l’impostazione generale del modello.

## 2.2.6 Affluenti artificiali

Oltre ai sopracitati modelli degli affluenti naturali è risultato necessario procedere anche alla modellazione idraulica semplificata del collettore consortile (rete ovest) in gestione alla società ALSI S.p.A., afferente all’impianto di depurazione posto a sud di Monza.

Tale collettore convoglia le portate meteoriche di diversi comuni (Giussano, Verano B., Carate B., Seregno, Desio, Lissone, Nova Milanese, Muggiò, parte di Monza) direttamente nel fiume Lambro, a valle dell’abitato di Monza.

Sui territori di tali comuni, infatti, non è presente alcun elemento idrografico naturale. Storicamente i collettori consortili hanno perciò assunto, con lo sviluppo urbanistico, la funzione di reticolo di drenaggio e si configurano come un “sistema fluviale parallelo” al Lambro.

Il bacino sotteso dal suddetto collettore è pari a circa 80 km<sup>2</sup>, 46 dei quali sono riferiti alla superficie urbanizzata. L’importanza della modellazione dettagliata di tale sistema deriva dal confronto tra le varie aree del bacino del fiume Lambro a nord dell’autostrada A4:

- bacino pre-lacuale: 111 km<sup>2</sup>;
- bacino naturale: 173 km<sup>2</sup>;
- bacino rete ovest ALSI: 80 km<sup>2</sup>.

Il modello è costituito da 16 sezioni, le quali sono state utilizzate per definire la geometria dei collettori, rappresentati come tratti di “culvert” in serie. L’estensione complessiva dei collettori consortili costituenti la rete ovest è pari a circa 19 km.

Ad ogni comune, o gruppi di comuni nel caso di Seregno, Giussano, Verano B. e Carate B. (afferenti ad una vasca di laminazione posta in comune di Seregno), è stato attribuito lo schema idraulico denominato NAM-URBANO, e precedentemente descritto nel paragrafo 2.2.1.

Pertanto tale modello permette di tenere in conto gli effetti di sovrapposizione delle onde che si formano nei diversi sottobacini urbani, la traslazione lungo il collettore e la reale capacità del collettore stesso. L’attribuzione di un unico schema idraulico (NAM-



URBANO) riferito all'intero bacino urbano sotteso dalla rete ovest non avrebbe permesso di tenere in conto gli effetti sopra richiamati e di fatto avrebbe contrastato con l'impostazione generale del modello complessivo.

### 2.2.7 Condizioni al contorno e scabrezze

I coefficienti di scabrezza relativi all'alveo inciso e alle aree di esondazione, sono stati attribuiti tenendo in conto delle caratteristiche dell'asta fluviale (presenza di vegetazione spondale, tipologia del fondo alveo, ecc.), della tipologia di uso del suolo (aree residenziali, campi coltivati, ecc.) e dei dati di taratura disponibili (delimitazione delle aree di allagamento e livelli idrometrici).

I valori delle scabrezze utilizzati per l'alveo inciso e le aree di esondazione sono sintetizzati nel prospetto che segue, e riportati in dettaglio nella tabella riportata nell'elaborato 5.2.2/2/2/1T/LA1.

Tratti fluviali	Scabrezza (coefficiente di Strickler)	
	Alveo inciso	Golene o rami laterali
1° Tratto	25 - 30	5 - 15
2° Tratto	25 - 35	2 - 15
3° Tratto	30	2 - 15
4° Tratto	30 - 35	2 - 15
5° Tratto	30	2 - 15

I dati di taratura utilizzati e l'analisi dell'evento sopra citato sono riportati al successivo capitolo 3.

Si sottolinea che data la diffusa presenza di manufatti (ponti e traverse) che interagiscono con il deflusso di piena il modello del Lambro risulta essere poco sensibile ai valori di scabrezza, essendo predominante l'effetto di rigurgito delle opere suddette.

Come condizione al contorno di valle, in corrispondenza della confluenza con il Deviatore Redefossi, è stato inserito il modello dell'asta fluviale a valle della confluenza stessa.

### **3 TARATURA DEL MODELLO**

#### **3.1 SCELTA DELL'EVENTO DI TARATURA**

Le operazioni di taratura del modello sono state effettuate utilizzando i dati idro-pluviometrici relativi all'evento meteorico verificatosi nel mese di novembre del 2002, che ha provocato lungo l'asta del Lambro diverse situazioni di allagamento particolarmente significative in diversi comuni, tra cui le principali risultano essere localizzate a:

- Pusiano e Merone, nei pressi del lago di Pusiano e dell'emissario naturale dello stesso;
- frazione Baggero di Merone;
- fondovalle tra Merone e Brioso in zone non urbanizzate;
- Carate Brianza, frazione di Agliate;
- Triuggio;
- Villasanta, nei pressi della frazione S. Giorgio;
- Monza, all'interno del parco e nel centro storico;

- Cologno Monzese, interessando una vasta area del centro abitato, di estensione pari a circa 4 km<sup>2</sup>;
- Milano, al Parco Lambro, nei pressi del cimitero di Lambrate e a Ponte Lambro.

Di tale evento sono state raccolte presso i vari comuni preziose documentazioni riferite alle aree allagate e allo stato di funzionamento dei principali manufatti di attraversamento.

Le operazioni di taratura hanno permesso di fissare i valori di alcuni parametri del modello idraulico, quali la scabrezza e i coefficienti che determinano le perdite di carico dei manufatti di attraversamento, e i parametri del modello idrologico.

I dati disponibili per tale evento sono relativi ai seguenti strumenti di misura:

- pluviometro di Caslino d'Erba (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- pluviometro di Molteno (dati forniti dalla Protezione Civile – Regione Lombardia);
- pluviometro di Veduggio (dati forniti dall'ALSI S.p.A. – ex Consorzio Alto Lambro);
- pluviometro di Cusano Milanino (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- idrometro di Lambrugo (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- idrometro di Peregallo (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia);
- idrometro di Villasanta (dati forniti dall'Associazione ADAL - Monza);
- idrometro di via Feltre a Milano (dati forniti dall'ARPA – Regione Lombardia).

Le caratteristiche della precipitazione rilevata nel mese di novembre 2002 sono ampiamente descritte nella relazione idrologica (Elaborato 5.2.1./1/1R/LA1).

Per quanto riguarda i dati idrometrici, sono state utilizzate le registrazioni effettuate dagli idrometri sopracitati che si riferiscono alle seguenti sezioni del modello idraulico:

- LA127 (ponte di via Dante a Costa Masnaga): idrometro di Lambrugo;
- LA102.1 (ponte nuovo di Biassono): idrometro di Peregallo;
- LA101 (passerella pedonale a Villasanta): idrometro di Villasanta;
- LA78 (ponte di via Feltre a Milano): idrometro di via Feltre.

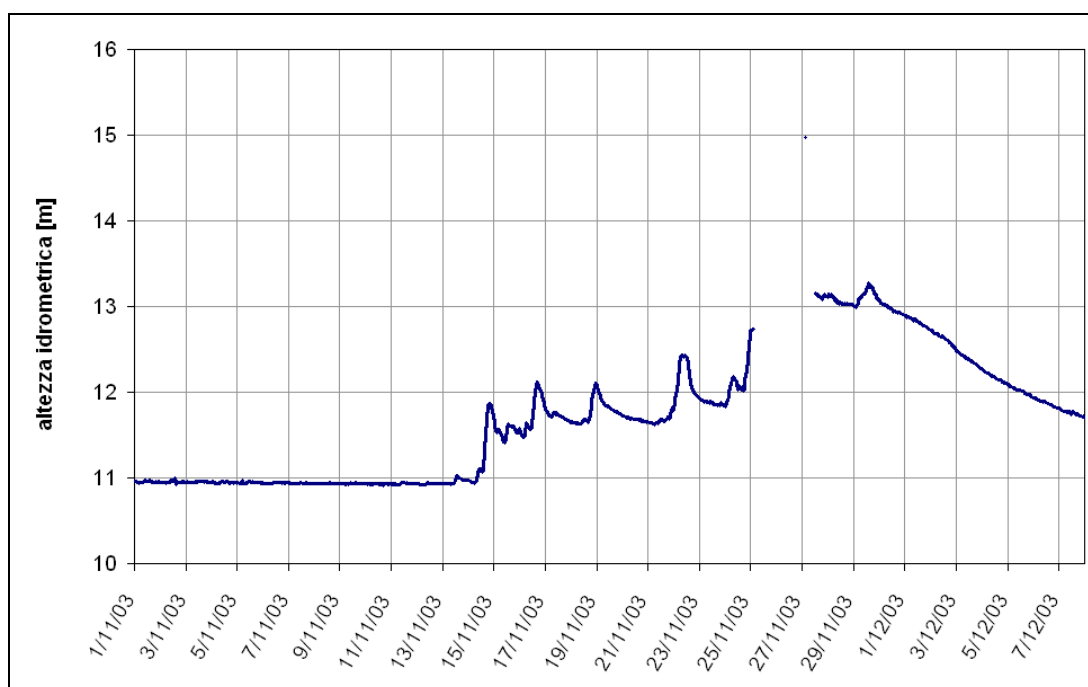
Occorre premettere in generale come la dislocazione della strumentazione idrometrica sul Lambro sia buona, in quanto posta in sezioni utili alla caratterizzazione della risposta idrologica delle diverse parti del bacino:

- l'idrometro di Lambrugo, che sottende un bacino pari a circa 170 km<sup>2</sup>, permette di valutare gli apporti in uscita dai laghi di Pusiano e di Alserio e l'apporto della Bevera di Molteno, che rappresenta il maggior affluente naturale del Lambro;

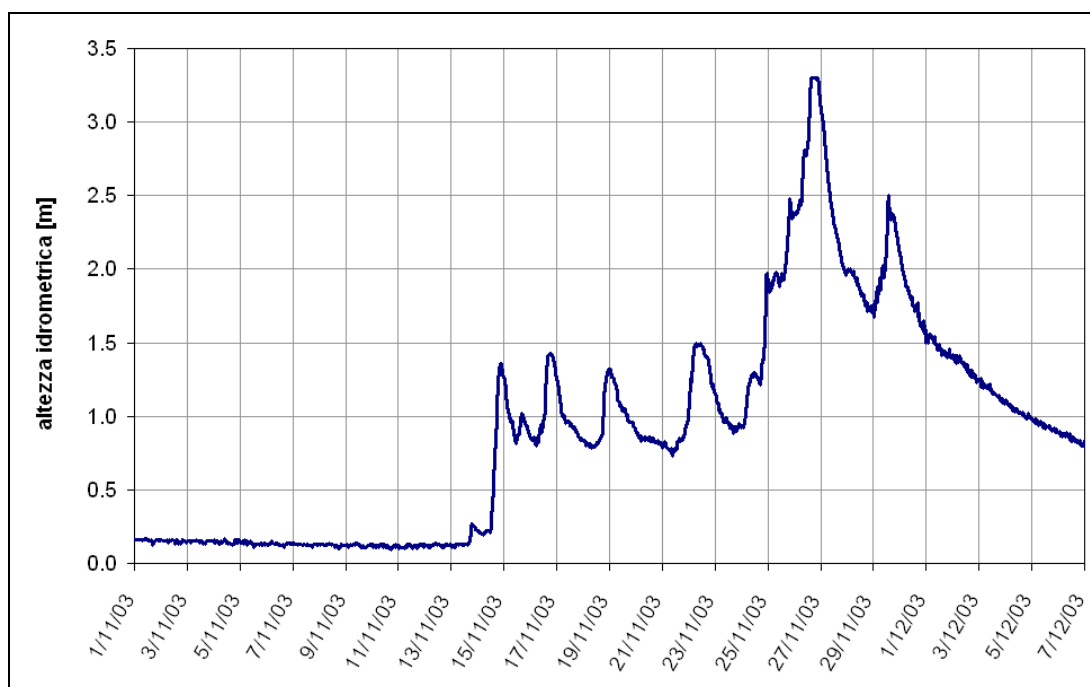
- l'idrometro di Peregallo, che sottende un bacino pari a circa 270 km<sup>2</sup>, permette di valutare l'apporto dell'intero bacino naturale (come indicato nella relazione idrologica si ha che il bacino del Lambro fino a Villasanta contribuisce al deflusso in alveo attraverso la componente naturale, mentre a valle di Villasanta i contributi risultano essere sono legati alla componente antropica); tali informazioni sono ricavabili solo parzialmente dalle letture dell'idrometro dell'ADAL posto a Villasanta, in quanto i massimi livelli registrati corrispondono a valori di portata ben lontani dalle condizioni di piena (la portata associata al massimo livello registrabile è pari a circa 40 m<sup>3</sup>/s mentre la portata transitata nella medesima sezione in occasione dell'evento è stata pari a circa 150 m<sup>3</sup>/s);
- l'idrometro di via Feltre a Milano permette invece di valutare la componente antropica dei deflussi di piena, in quanto tra l'idrometro di Peregallo e quello di via Feltre sono presenti solo i contributi dei bacini urbani di Monza, dell'Alto Lambro, di Sesto San Giovanni e di una porzione di Brugherio e Cologno Monzese. Il bacino sotteso da tale idrometro è pari a 430 km<sup>2</sup> (80% dell'intero bacino chiuso alla confluenza con il Deviatore Redefossi) per cui ben rappresentativo dell'intero bacino.

Nelle figure seguenti sono riportati gli andamenti delle letture idrometriche con riferimento alle stazioni citate in precedenza e riferite all'intero mese di novembre 2002 e parte del mese di dicembre.

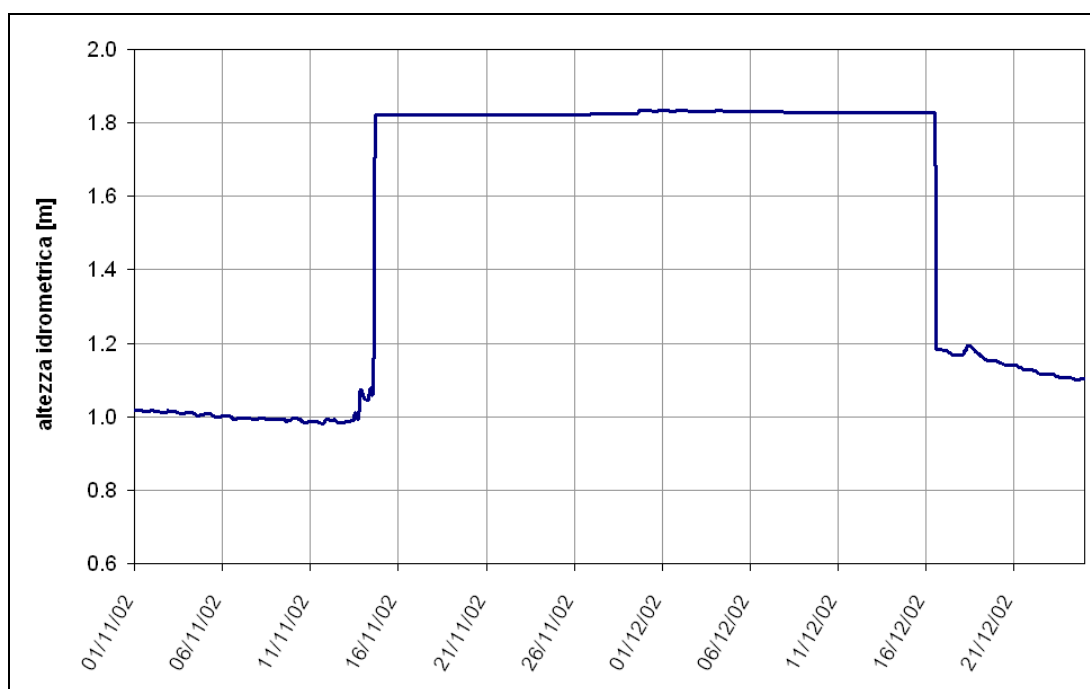
**Figura 7: Livello idrico misurato dall'idrometro di Lambrugo**



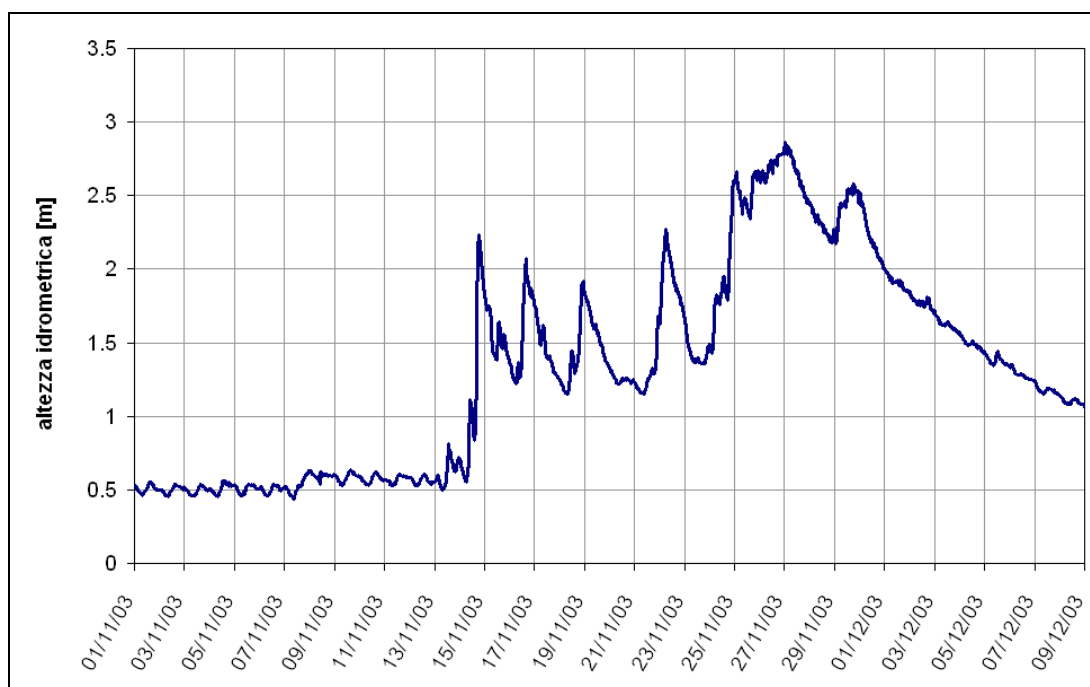
**Figura 8: Livello idrico misurato dall'idrometro di Peregallo**



**Figura 9: Livello idrico misurato dall'idrometro di Villasanta**



**Figura 10: Livello idrico misurato dall'idrometro di via Feltre**



Dall'analisi delle figure precedenti si possono ricavare le seguenti osservazioni:

- l'idrometro di Lambrugo non ha effettuato registrazioni durante il picco della piena (25-27 novembre). Dal 14 al 25 novembre si nota tuttavia una costante crescita dei deflussi, testimoniata dal crescente punto di arresto della fase di esaurimento delle onde. Tale analisi, comparata con i livelli del lago di Pusiano, consente di scorporare nell'onda complessiva il deflusso di base crescente in uscita dal lago dai deflussi più impulsivi derivanti dal torrente Bevera, con esaurimento nelle 24 ore successive;
- gli idrometri di Peregallo, Villasanta e via Feltre hanno effettuato le registrazioni per l'intero periodo d'interesse;
- la registrazione a Peregallo evidenzia, in analogia, il persistente deflusso di base, su cui si sommano le onde di piena sub-lacuali;
- le registrazioni dell'idrometro di Villasanta sono poco significative, in quanto il livello si mantiene durante tutto l'evento pressoché costante, pari a circa 1.8 m, a cui corrisponde in base a quanto indicato dal gestore dello strumento (ADAL) una portata pari a circa  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , valore ben inferiore rispetto alle portate di piena in tale sezione. E' significativo tuttavia come tale deflusso si sia mantenuto per oltre un mese, dal 15 novembre al 16 dicembre;
- dall'andamento delle altezze idrometriche di via Feltre si osserva, nella fase iniziale del grafico, il tipico andamento degli scarichi fognari, a dimostrazione del fatto che tale idrometro sottende un cospicuo bacino urbano e quindi è in grado di fornire informazioni circa le portate provenienti dalle reti di drenaggio urbano. Paragonando le risposte idrometriche in via Feltre con quelle a Lambrugo e a

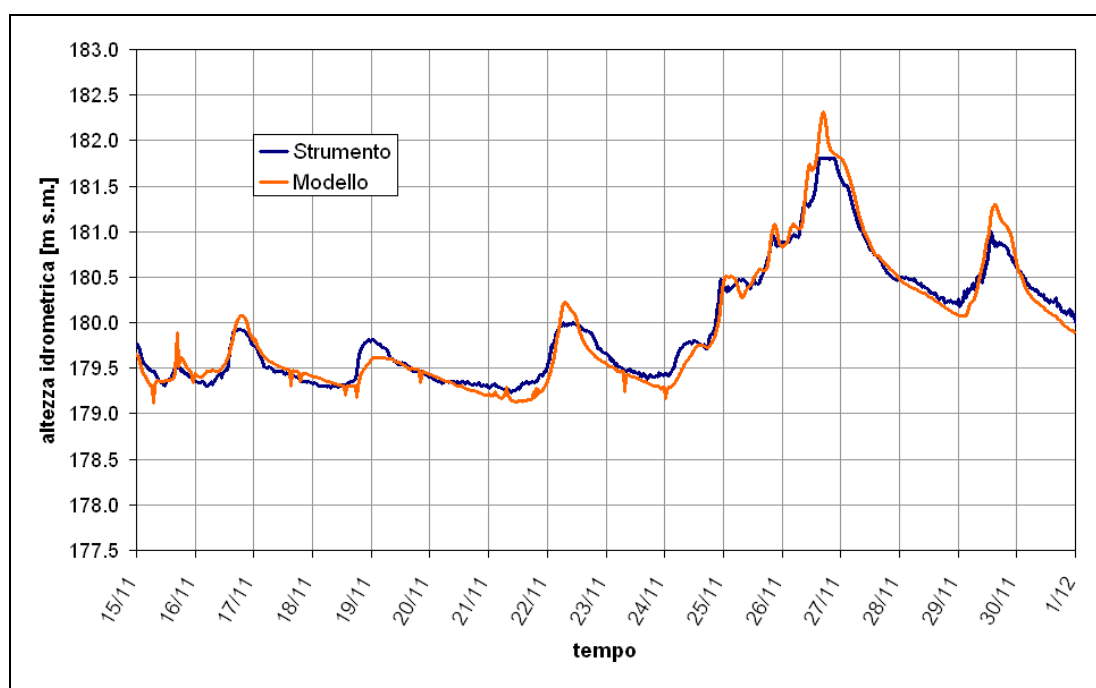
Peregallo, si nota come i picchi siano nella prima sezione anticipati e pertanto connessi allo scarico dei sistemi urbani sino all'evento del 25÷27 novembre, dopo di che si nota una propagazione del colmo da monte verso valle, indice di una piena formatasi nella zona pre-lacuale e naturale del bacino.

### 3.2 ANALISI DELL'EVENTO E RISPOSTA DEL MODELLO

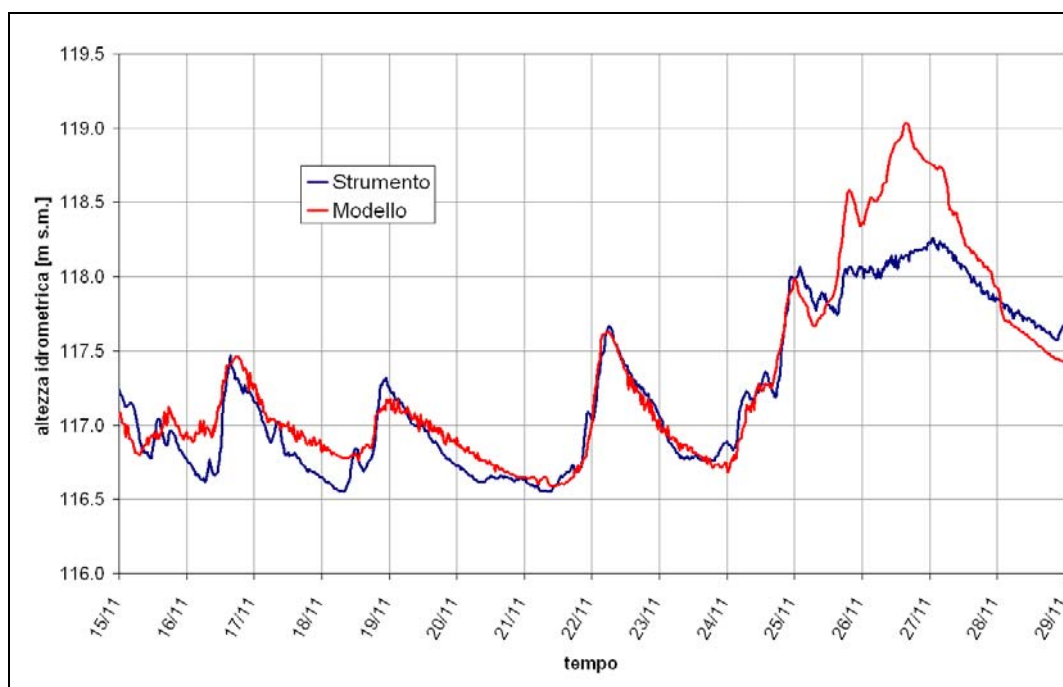
Definito l'evento di taratura ed attribuiti ai singoli bacini gli ietogrammi dei tre pluviografi disponibili secondo quanto già definito nella relazione idrologica, si è verificata la risposta del modello, confrontando l'andamento dei livelli registrati con i livelli derivanti dalla simulazione dell'evento reale.

Tale confronto, relativo rispettivamente alle sezioni in cui i dati registrati sono completi, cioè LA102.1 (idrometro di Peregallo) e LA78 (idrometro di via Feltre), è riportato graficamente nelle figure seguenti.

**Figura 11: Idrometro di Peregallo – confronto fra livelli registrati e livelli restituiti dal modello idrologico-idraulico**



**Figura 12: Idrometro di via Feltre – confronto fra livelli registrati e livelli restituiti dal modello idrologico-idraulico**



Dalle figure precedenti si osserva un'ottima corrispondenza tra i livelli registrati e i livelli derivanti dalla simulazione del modello idrologico-idraulico. Si osserva uno scostamento in corrispondenza del picco dell'evento, dovuto essenzialmente dal fatto che per tali livelli l'idrometro non è in grado di registrare il livello corretto a causa del fatto che viene sommerso dal livello di piena.

Oltre all'analisi dei dati registrati sono state condotte altre analisi, ed in particolare:

- confronti tra i livelli osservati in prossimità di alcuni manufatti e il livello restituito dal modello nel medesimo manufatto, nello stesso periodo;
- confronto fra le aree di allagamento accertate e i livelli di alcune sezioni rappresentative.

Di seguito vengono rappresentate alcune di tali situazioni.



### ***Lago di Pusiano***

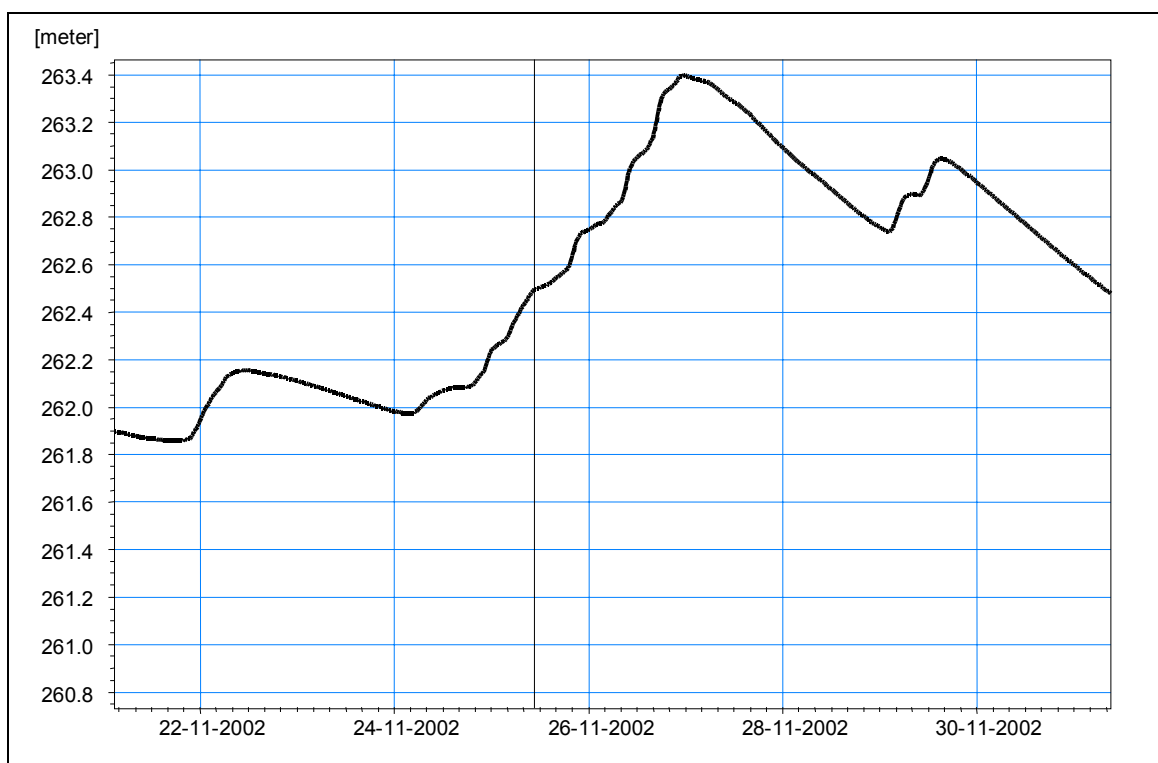
Il lago di Pusiano ha raggiunto livelli tali da dare origine ad allagamenti nella piazza centrale di Pusiano (quota pari a circa 262.2 m s.m.) a partire dalla tarda mattinata del giorno 25/11; come si osserva dalla figura 3.7, che rappresenta l'andamento dei livelli del lago riprodotti dal modello, in corrispondenza della mattinata del giorno 25 novembre si riscontrano livelli compatibili con l'esondazione accertata.

Nella foto 1 è riportata la situazione alle ore 17.00 del 25 novembre, con interessamento della sede della S.S. 639, del tutto coerente con il valore di 262.5 m s.m. fornito dal modello. Alle ore 24:00 circa del 26 novembre il lago ha raggiunto il massimo livello (263,40 m s.m.).

**Foto 1: Lago di Pusiano – S.S. 639 ore 17:00 del 25/11/2002**



**Figura 13: Andamento dei livelli del lago di Pusiano durante l'evento del novembre 2002.**



#### ***Cassa di espansione sul torrente Bevera di Molteno a Merone***

Lungo il torrente Bevera di Molteno è stata realizzata una cassa di espansione (collaudata in data 30 agosto 2002) di soli 60.000 m<sup>3</sup>, che rappresenta il I lotto di un intervento di laminazione più esteso, che prevede una volumetria complessiva pari a 1.400.000 m<sup>3</sup>.

Durante tutto l'evento alluvionale dei giorni 25-27 novembre 2002 il funzionamento di tale cassa d'espansione è stato il seguente:

- nella mattina di lunedì 25 novembre i livelli idrici del fiume Lambro e del torrente Bevera non interessavano le zone abitate di Baggero e il livello del torrente Bevera all'interno della cassa era di circa 20-40 cm inferiore rispetto allo sfioratore interno. Correttamente la cassa non era in funzione in quanto la stessa è progettata per intervenire solo per decurtare il colmo della piena;
- nella serata di lunedì 25 novembre al crescere dei livelli in Lambro e Bevera la cassa ha cominciato ad invadere le acque del torrente Bevera giungendo a pieno riempimento nella giornata di martedì 26 novembre. L'attuale volumetria della cassa (4% del previsto) è stata quindi inevitabilmente saturata ed è iniziato lo sfioro di superficie. Se fosse risultato disponibile il secondo lotto (pari a 200.000 m<sup>3</sup>) l'effetto di riduzione dei livelli a valle sarebbe stato molto più efficace;
- nella serata di martedì 26 novembre si è raggiunto il massimo sfioro dalla cassa con livello stimato pari a circa 60-80 cm sulla soglia dalle 20:00 alle 23:30;

- sino alle ore 5:30 del mattino del giorno 27 novembre lo sfioro è rimasto attivo;
- dalle 5:30 del giorno 27 novembre è iniziato il transitorio di svaso della cassa in relazione ai livelli idrici del fiume Lambro e della portata in ingresso dal torrente Bevera.

Come evidente dalla descrizione di cui sopra la cassa (nella sua attuale configurazione parziale e ridotta) è entrata in funzione nel momento di massima utilità, contribuendo a ridurre, per quanto possibile, gli effetti.

Tale opera di laminazione è stata inserita nel modello di stato attuale.

### ***Carate Brianza, frazione di Agliate***

A Carate Brianza, in particolare nella frazione di Agliate, la zona (nei pressi della sezione LA110.3) situata a valle del ponte di via Garibaldi di Verano Brianza (sezione LA111), sottoposta a progetto di difesa idraulica con finanziamento legge 267/98, presenta un'insufficienza spondale in sinistra: dai sopralluoghi condotti e dall'analisi del materiale raccolto risulta che il livello del muro spondale (pari a 215.15 m s.m.) in data 25/11 non era ancora stato superato, mentre in data 26 e 27, durante il picco di portata, il muro è stato scavalcato, allagando le zone retrostanti.

Dalle foto e dalla figura seguente si osserva la rispondenza tra i livelli osservati e i livelli riprodotti dal modello utilizzato.

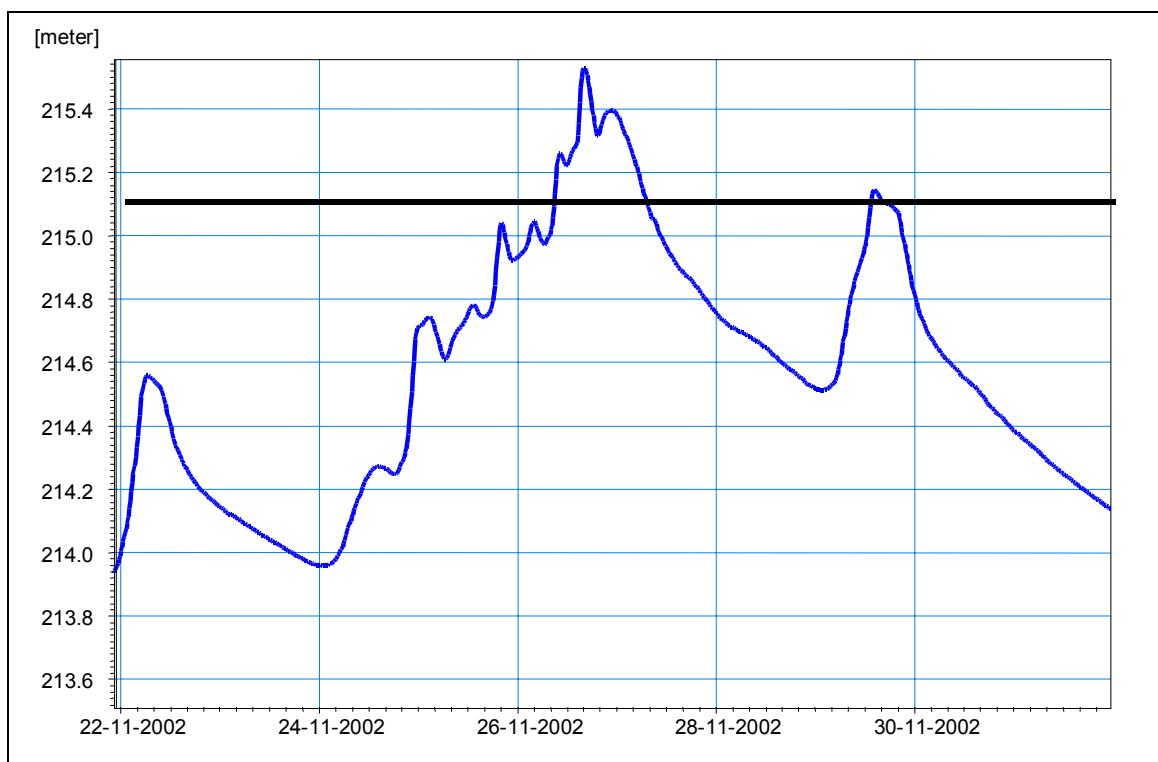
**Foto 2: Carate Brianza, frazione di Agliate, sponda sinistra – 25 novembre 2002**



**Foto 3: Carate Brianza, frazione di Agliate, sponda sinistra – 27 novembre 2002**



**Figura 14: Andamento dei livelli del Lambro in corrispondenza della frazione di Agliate durante l'evento del novembre 2002**



***Villasanta, frazione di S. Giorgio***

A Villasanta, in particolare nella frazione di San Giorgio, la zona nei pressi del ponte di S. Giorgio, sezione LA100.2, sottoposta a progetto di difesa idraulica con finanziamento



legge 267/98, presenta rischio di esondazione legato al rigurgito del suddetto ponte e dei ponti a valle (Bertoli, sezione LA100.1) e a monte (passerella pedonale, sezione LA101).

Dai sopralluoghi condotti e dall'analisi del materiale raccolto risulta che il ponte (quota intradosso pari a 172.45 m s.m.) in data 25/11 non era in pressione, mentre durante il picco dell'evento (tra il 26 e il 27), il ponte è andato in pressione ed ha causato l'allagamento delle zone circostanti.

Dalle foto e dalla figura seguente si osserva la rispondenza tra i livelli osservati e i livelli riprodotti dal modello utilizzato.

**Foto 4: Villasanta, frazione di S. Giorgio, ponte di S. Giorgio – 25 novembre 2002 12:00**



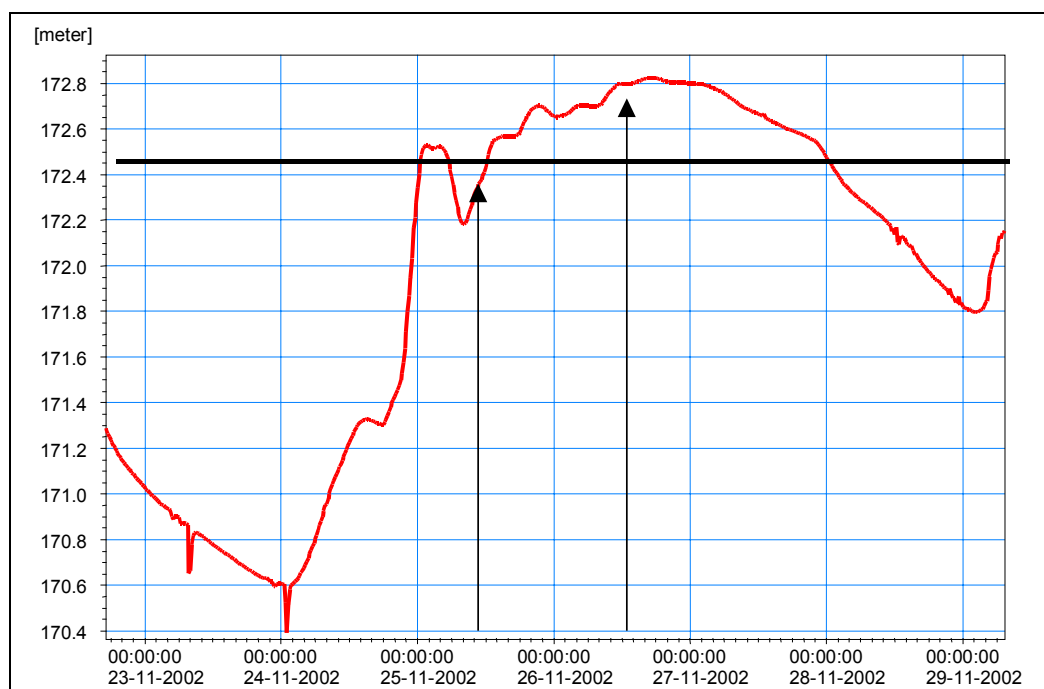
**Foto 5:** Villasanta, frazione di S. Giorgio, ponte di S. Giorgio – 26 novembre 2002



**Foto 6:** Villasanta, frazione di S. Giorgio, ponte di S. Giorgio – aree esondate



**Figura 15: Andamento dei livelli del Lambro in corrispondenza del ponte di S. Giorgio durante l'evento del novembre 2002**



#### ***Monza, ponte autostrada A4***

Il ponte dell'autostrada A4, posto nei pressi del depuratore di Monza, rappresenta ovviamente un'infrastruttura di elevata importanza viabilistica, in quanto tale autostrada è percorsa ogni giorno da innumerevoli automezzi. Tale struttura è però insufficiente nei confronti dei deflussi di piena del Lambro.

Durante l'evento di novembre, già nella mattinata del giorno 25, l'impalcato di tale ponte era quasi in pressione (il livello dell'intradosso del ponte a monte dell'A4 è 145,9 m s.m., mentre quello del ponte della A4 è pari a 146,2 m s.m.), come dimostrato dalla foto seguente. In tale periodo la portata stimata era pari a circa 100 m<sup>3</sup>/s, mentre in occasione del colmo di piena, pari a circa 200 m<sup>3</sup>/s, si stima che il suddetto manufatto abbia funzionato in pressione.



**Foto 7: Ponte autostrada A4 nei pressi del depuratore di Monza – 25 novembre, 11:00**



***Sopralluogo con elicottero***

In data 30 novembre, dalle ore 10:00 alle ore 12:00, l'Autorità di Bacino del fiume Po ha effettuato un sopralluogo in elicottero, da cui si è constatata l'esistenza di aree di allagamento tra Merone e Inverigo, pur essendo trascorsi tre giorni dal colmo di piena.

Di seguito è riportata una foto scattata dall'elicottero, nella quale si vede la confluenza fra il Lambro e il torrente Bevera di Molteno.

**Foto 8: Confluenza Lambro e torrente Bevera di Molteno – 30 novembre 2002**





### 3.3 CONCLUSIONI

Dall'analisi completa dell'evento, ricostruito dal modello idrologico-idraulico, si possono ricavare le portate al colmo lungo l'asta fluviale in alcune sezioni caratteristiche, utili ad interpretare la dinamica dell'evento.

Q uscita dal lago di Pusiano:	$\sim 50 \text{ m}^3/\text{s}$
Q Bevera di Molteno:	$\sim 40 \text{ m}^3/\text{s}$
Q idrometro di Lambrugo:	$\sim 100 \text{ m}^3/\text{s}$
Q idrometro di Peregallo:	$\sim 140 \text{ m}^3/\text{s}$
Q al ponte di S. Giorgio - Villasanta:	$\sim 150 \text{ m}^3/\text{s}$
Q ponte A4:	$\sim 200 \text{ m}^3/\text{s}$
Q via Feltre – Milano:	$\sim 160 \text{ m}^3/\text{s}$
Q via Forlanini - Milano:	$\sim 165 \text{ m}^3/\text{s}$
Q a monte confluenza Dev. Redefossi:	$\sim 175 \text{ m}^3/\text{s}$

La lettura dei valori delle portate porta ad osservare come l'evento di novembre 2002 sia stato un evento molto più intenso per la parte alta del bacino, piuttosto che per la parte inferiore. Tale caratteristica, emersa sin dall'analisi pluviometrica (cfr. relazione idrologica, elaborato 5.2.1/1R/LA1) viene ora confermata anche dai valori delle portate lungo il corso d'acqua:

- già a Lambrugo i deflussi sono notevoli per effetto delle portate in uscita dal lago di Pusiano e dalla Bevera di Molteno;
- i deflussi subiscono ulteriori incrementi per effetto del contributo dei rimanenti bacini naturali, fino a Villasanta;
- dall'analisi delle portate a valle di Villasanta si osserva come gli incrementi non siano elevati, a fronte di notevoli bacini urbani afferenti, in quanto le precipitazioni su tali zone non hanno avuto caratteristiche di forte intensità ( $T < 2$  anni, cfr. relazione idrologica). Le zone urbane pertanto non hanno fornito una risposta particolarmente significativa in termini di apporto. Inoltre durante l'evento la perturbazione si è mossa in direzione sud-nord e pertanto i deflussi urbani non si sono sommati al colmo naturale.

Si conclude pertanto affermando che la piena del fiume Lambro sia stata determinata prevalentemente da:

- elevate precipitazioni che, pur non essendo molto intense per le brevi durate, nel lungo periodo (10-15 giorni) hanno comportato notevoli afflussi in termini di volume, soprattutto nella parte settentrionale del bacino;
- elevati volumi affluiti nella parte settentrionale che hanno comportato:
- un elevato apporto in uscita dal lago di Pusiano già a massimo invaso il giorno 24 novembre;
- un elevato apporto del torrente Bevera di Molteno (principale affluente di monte) causato soprattutto dal fatto che il bacino era in condizioni sature prima dell'evento più gravoso del 25÷27 novembre, come testimoniato dagli allagamenti segnalati nei giorni 21 e 22 novembre.

L'evento prescelto per la taratura del modello (sulla base dei dati disponibili e della dinamica pluviometrica) ha confermato sostanzialmente le scelte effettuate in fase di costruzione del modello stesso, sia in termini di parametri idrologici, sia in termini di struttura idraulica complessiva (assetto delle zone golenali e di espansione naturale) e puntuale (influenza dei manufatti nella propagazione dell'onda).

## **4 ASSETTO IDRAULICO ATTUALE**

### **4.1 LIVELLI IDRICI E PORTATE DI PIENA**

Sulla base delle considerazioni espresse nei capitoli precedenti, tramite la modellazione si sono individuati gli idrogrammi di piena che nello stato attuale si formano in tutte le sezioni dell'asta principale del Lambro e, contemporaneamente, i profili idrici di moto vario lungo tutti i tratti dell'asta medesima, per tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni.

I risultati delle modellazioni eseguite sono dettagliatamente presentati negli elaborati 5.2.2/2/1T/LA1 Tabelle, 5.2.2/3/1N/LA1 Profili longitudinali di piena, e 5.2.2/4/1C/LA1 Cartografia delle aree allagate e delle opere interferenti.

In generale si riscontra la notevole influenza dei manufatti di attraversamento e delle traverse sulla dinamica fluviale. In tutto il tratto oggetto di studio (63.8 km) si contano 106 attraversamenti (93 dei quali modellati con la struttura "culvert" + "weir"), di cui solo 24 con franco adeguato e ben 61 con funzionamento in pressione o con sormonto, e 49 traverse. Tale caratteristica determina per ampi tratti il profilo idrico con regimi di rigurgito che spesso inducono un effetto di crisi a catena: il ponte a valle con il proprio effetto di rigurgito porta alla crisi il ponte a monte.

L'analisi dei regimi indica che buona parte del profilo idrico del fiume Lambro è in corrente lenta comandata, come detto, dalle sezioni di controllo poste a valle. A livello di dettaglio l'analisi della successiva tabella 3 dimostra il seguente assetto idraulico:

- lungo l'intero tratto 1, dall'uscita del lago di Pusiano fino a Villasanta, si ha una generale incompatibilità dell'alveo per portate duecentennali. Si osserva che la portata compatibile è inferiore alla portata con tempo di ritorno pari a 200 anni; le aree di allagamento conseguenti a tale insufficienza generalizzata sono più estese in alcune zone (da Merone, località Baggero, fino a Brioso, alla confluenza con la Bevera di Renate e a Lesmo e Villasanta) e meno estese in altre (a Verano Brianza, Carate Brianza, Albiate, Triuggio, Sovico e Biassono). A tale insufficienza d'alveo generalizza, fa eccezione il tratto compreso tra la sezione LA108.1 e la sezione LA107 (tra Albiate e Triuggio) nel quale la portata duecentennale risulta essere compatibile con l'attuale assetto fluviale. Si sottolinea inoltre che l'intero tratto può essere ritenuto compatibile con portate avente tempo di ritorno pari a circa 50 anni;
- il tratto 2, compreso tra Villasanta e il ponte dell'autostrada A4, presenta un'insufficienza diffusa per tempi di ritorno pari a 200 anni. La portata compatibile con l'intero tratto risulta essere dell'ordine di  $10 \div 20$  anni di tempo di ritorno, come peraltro dimostrato storicamente dalla cadenza delle ultime esondazioni che si sono verificate a Monza (1949, 1951, 1976, 2002). In particolare, si ha che il tratto che attraversa il centro urbano di Monza risulta essere compatibile con portate di circa  $80 \div 90$  m<sup>3</sup>/s, a fronte di portate idrauliche con tempo di ritorno di 200 anni pari a circa  $200 \div 210$  m<sup>3</sup>/s. Tale insufficienza è la causa dei frequenti e vasti allagamenti che interessano la città di Monza. Si segnala inoltre che i livelli di piena correlati alla precedente portata compatibile non rispettano comunque i franchi di sicurezza sui ponti. In altri termini con la portata di 100 m<sup>3</sup>/s numerosi manufatti in Monza presentano funzionamento in pressione.

Diversi manufatti di attraversamento di notevole importanza risultano essere incompatibili con le portate di piena: tra tutti si segnala il ponte dell'autostrada A4 (sezione LA91), il quale per portate duecentennali risulta essere scavalcato dalla corrente idrica;

- il tratto 3, compreso tra il ponte dell'autostrada A4 e la passerella pedonale nei pressi della stazione della metropolitana di Cascina Gobba, presenta un'asta fluviale generalmente compatibile con portate dell'ordine di  $180 \div 200$  m<sup>3</sup>/s, ad eccezione di alcuni tratti concentrati che generano situazioni di insufficienze localizzate e che danno origine a vaste aree di allagamento: ad esempio, nella zona di S. Maurizio al Lambro a confine tra il comune di Brugherio e di Cologno Monzese, si ha una situazione per cui le ridotte dimensioni della luce di passaggio al di sotto del ponte di via San Maurizio (sezione LA90.1) e un livello spondale in sinistra idraulica insufficiente rispetto ai livelli di piena, generano una cospicua esondazione in sinistra, in grado di interessare quasi l'intero territorio del comune di Cologno Monzese;
- il tratto 4, compreso tra Cascina Gobba e il ponte di viale Forlanini a Milano, presenta una diffusa insufficienza per tempi di ritorno pari a 200 anni. In particolare, il tratto milanese compreso tra il ponte di via Feltre e i ponti della linea ferroviaria Milano-Treviglio risulta essere compatibile con portate di circa  $120 \div 150$  m<sup>3</sup>/s, a fronte di portate con tempo di ritorno di 200 anni pari a circa  $300 \div 320$  m<sup>3</sup>/s. Tale insufficienza

genera vaste aree di allagamento nella zona di Parco Lambro e di Lambrate. Si segnala inoltre che i livelli di piena correlati alla precedente portata compatibile non rispettano comunque i franchi di sicurezza ai manufatti;

- il tratto 5, compreso tra il ponte di viale Forlanini a Milano e la confluenza con il Deviatore Redefossi, presenta dal punto di vista della compatibilità idraulica due distinti comportamenti: nel tratto che si estende fino al ponte della S.S. 415 (sezione LA65.2) si ha una portata compatibile pari a circa 10 anni di tempo di ritorno, mentre nella zona a valle del suddetto manufatto, la portata compatibile, con interessamento di aree golenali esterne all'alveo inciso prive di insediamenti urbanizzati, risulta essere prossima alla portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.

**Tabella 3: Confronto tra la portata idraulica e la portata compatibile (T=200 anni)**

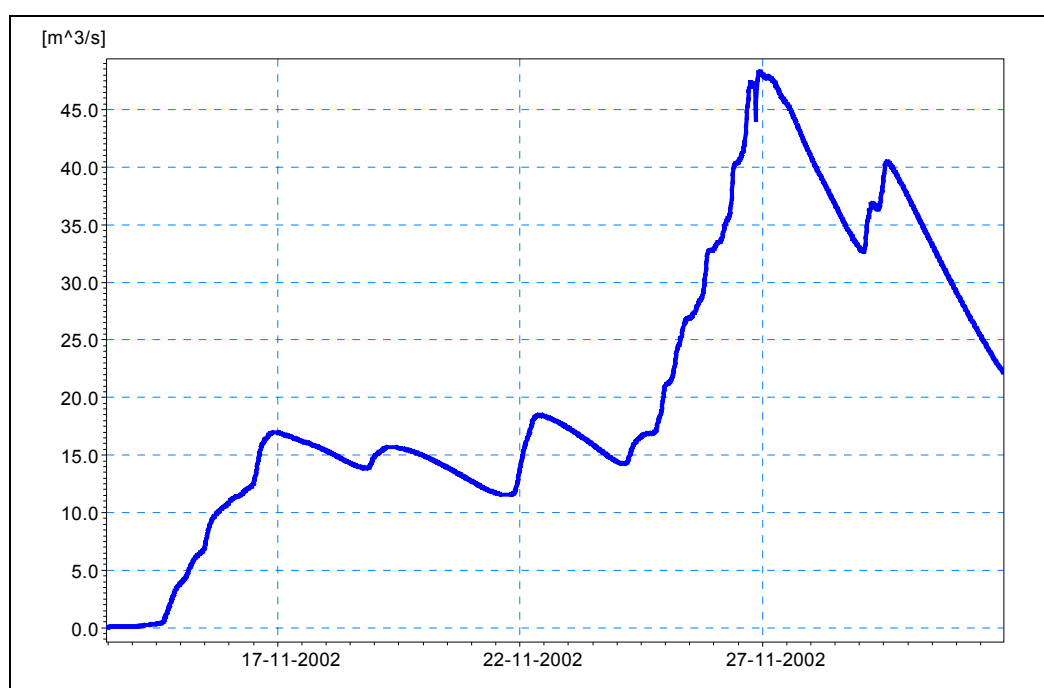
Sezione	Progressive [m]	Descrizione	Portata idraulica stato attuale	Portata compatibile stato attuale
LA 132.19	21249	uscita Lago di Pusiano	50 <sub>(48)</sub>	15 (T<200)
LA 132.11	22545	Ponte S.P. 41 -Merone	60 <sub>(60)</sub>	25 (T<200)
LA 129.2	25528	confluenza Bevera Molteno	120 <sub>(122)</sub>	45 (T<200)
LA 127	27039	Ponte via Dante - Lambrugo	120 <sub>(119)</sub>	60 (T<200)
LA 124.3	28882	Ponte S.S. 342 (Briantea)	115 <sub>(116)</sub>	60 (T<200)
LA 120.1	33107	Ponte via Camisasca - Inverigo	135 <sub>(133)</sub>	50 (T<200)
LA 117.1	35620	Ponte S.P. 42	150 <sub>(150)</sub>	70 (T<200)
LA 111	39910	Ponte via Garibaldi – Verano Brianza	155 <sub>(155)</sub>	80 (T<200)
LA 109	41669	Ponte via Fiume - Carate Brianza	155 <sub>(156)</sub>	95 (T<200)
LA106.3	43780	Ponte strada comunale – Triuggio	155 <sub>(157)</sub>	155 (T=200)
LA 104.1	46085	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	165 <sub>(164)</sub>	100 (T<200)
LA 102	48740	Ponte vecchio - Biassono	175 <sub>(174)</sub>	100 (T<200)
LA 100.2	51206	Ponte S. Giorgio - Villasanta	190 <sub>(189)</sub>	90 (T<200)
LA97.3	53802	Ponte ad arco via Cavriga Villasanta	195 <sub>(194)</sub>	90 (T<200)
LA96.1	55162	Ponte ad arco via Cantore – Monza	200 <sub>(201)</sub>	80 (T=10)
LA94.4	56510	Ponte FFSS - Monza	110+100 <sub>(110+99)</sub>	40+45 (T=10)
LA93.3	57645	Ponte canale Villoresi	215 <sub>(216)</sub>	120 (T=10)
LA91	60397	Ponte A4	295 <sub>(295)</sub>	120 (T<10)
LA90.1	61279	Ponte S. Maurizio - Cologno Monzese	295 <sub>(295)</sub>	130 (T<10)
LA88.1.1	62638	Ponte Tangenziale Nord	295 <sub>(295)</sub>	185 (T<200)
LA84.1	66546	Ponte via Di Vittorio Sesto San Giovanni	330 <sub>(328)</sub>	190 (T<200)
LA82.1.2	67560	Ponte canale Naviglio Martesana	310 <sub>(308)</sub>	100 (T<10)
LA81.5	68234	Raccordo Tangenziale via Palmanova - Milano	325 <sub>(323)</sub>	215 (T<200)
LA78	71253	Ponte via Feltre - Milano	315 <sub>(314)</sub>	125 (T<10)
LA77.2	71786	Ponte via Rombon - Milano	315 <sub>(316)</sub>	215 (T<200)
LA75	72925	Ponte via Rubattino - Milano	250 <sub>(251)</sub>	150 (T<10)
LA73.4	73516	Ponte FF.SS. - Milano	210 <sub>(210)</sub>	150 (T=10)
LA72.4	74820	Ponte via Forlanini - Milano	205 <sub>(206)</sub>	90 (T<10)

Sezione	Progressive [m]	Descrizione	Portata idraulica stato attuale	Portata compatibile stato attuale
LA72	75532	Ponte Monluè - Milano	205 <sub>(206)</sub>	120 (T=10)
LA70	77615	Ponte via Vittorini - Milano	205 <sub>(205)</sub>	125 (T=10)
LA67	80176	Traversa di Bolgiano - Milano	210 <sub>(211)</sub>	90 (T<10)
LA65.2	81162	Ponte S.S. 415	210 <sub>(211)</sub>	100 (T<10)
LA60	85066	Traversa a monte Deviatore Redefossi	215 <sub>(216)</sub>	215 (T=200)

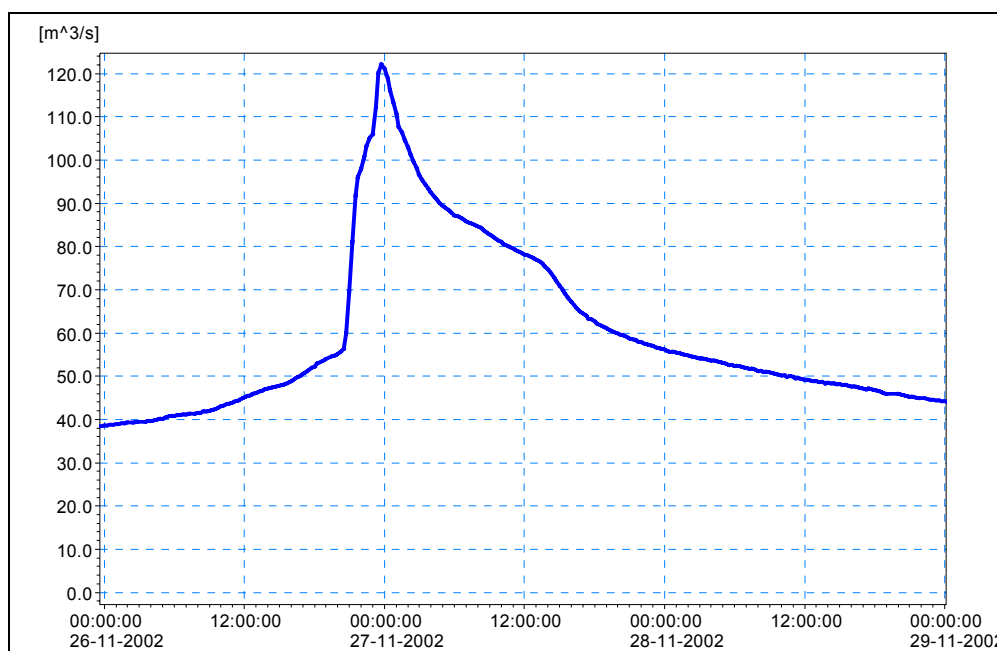
A titolo esemplificativo, di seguito vengono riportate le onde generate con il modello descritto nel capitolo 3, in alcune sezioni caratteristiche del corso d'acqua con riferimento all'evento duecentennale. In particolare nelle figure 16÷22 sono riportate le onde nelle sezioni LA132.19 (uscita dal lago di Pusiano), LA128 (a valle confluenza con la Bevera di Molteno), LA100.2 (ponte S. Giorgio a Villasanta), LA91 (ponte autostrada A4), LA78 (ponte di via Feltre), LA74 (ponte ferroviario linea Milano-Treviglio), LA60 (confluenza Deviatore Redefossi).

Nella successiva Tabella 4 vengono riportati per tali sezioni le portate al colmo nello stato attuale, le portate al colmo compatibili, i volumi complessivi delle onde e i volumi eccedenti la compatibilità idraulica, cioè i volumi associati alle portate che esondano durante l'evento duecentennale prescelto e descritto nella relazione idrologica (evento reale del novembre 2002 per il bacino pre-lacuale ed evento sintetico tipo Chicago con durata 24 ore per la restante parte del bacino).

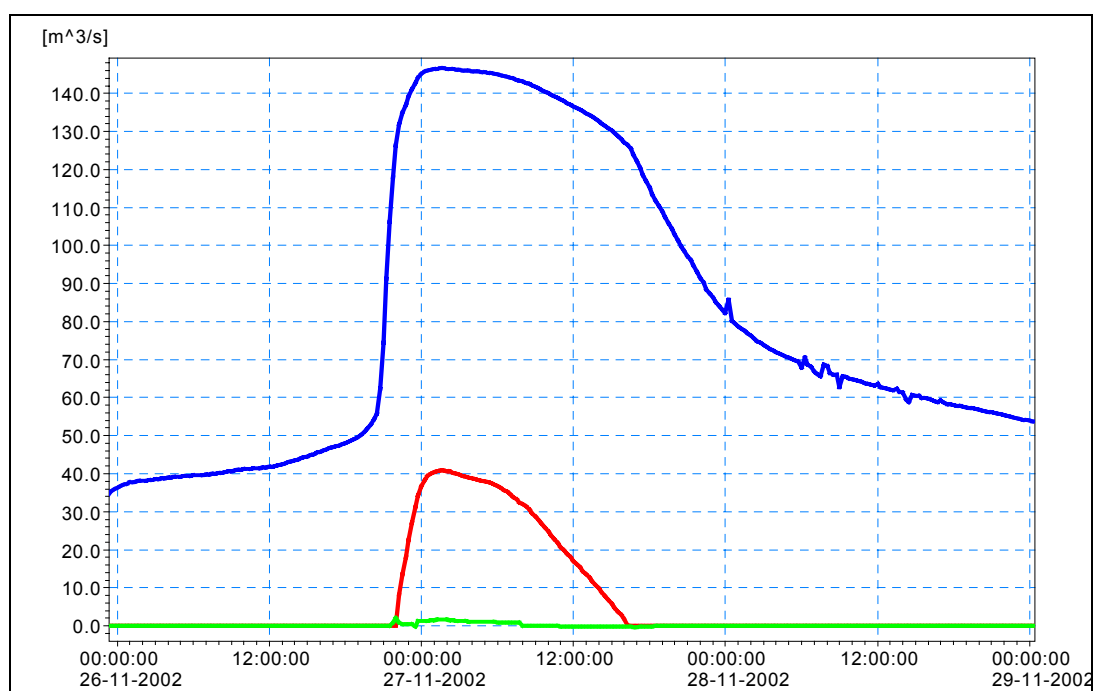
**Figura 16: Idrogramma alla sezione LA132.19 per T= 200 anni.**



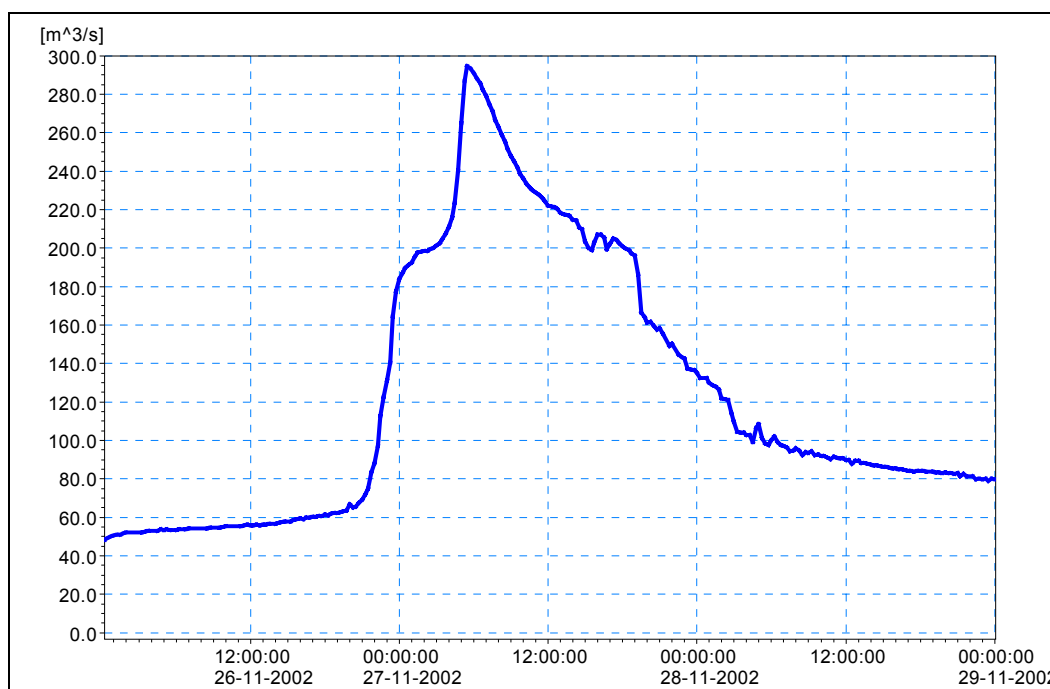
**Figura 17: Idrogramma alla sezione LA128 a valle della confluenza con la Bevera di Molteno per T= 200 anni.**



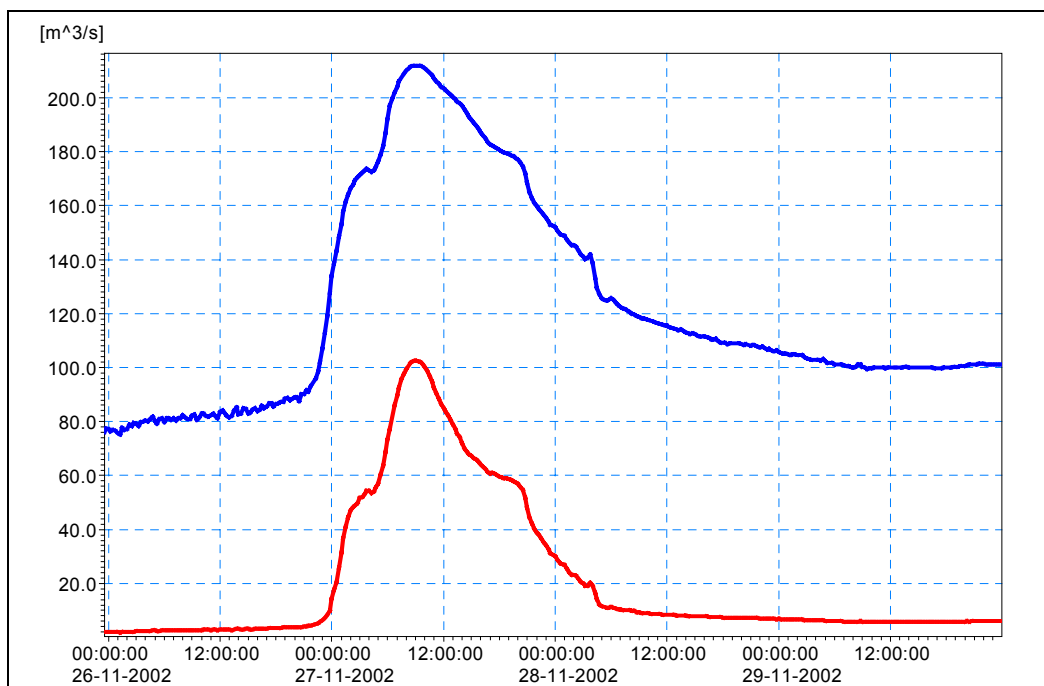
**Figura 18: Idrogramma alla sezione LA100.2 S. Giorgio Villasanta, per T= 200 anni. (in colore rosso e verde sono rappresentati gli idrogrammi nelle aree di allagamento)**



**Figura 19: Idrogramma alla sezione LA91, ponte autostrada A4, per T= 200 anni.**

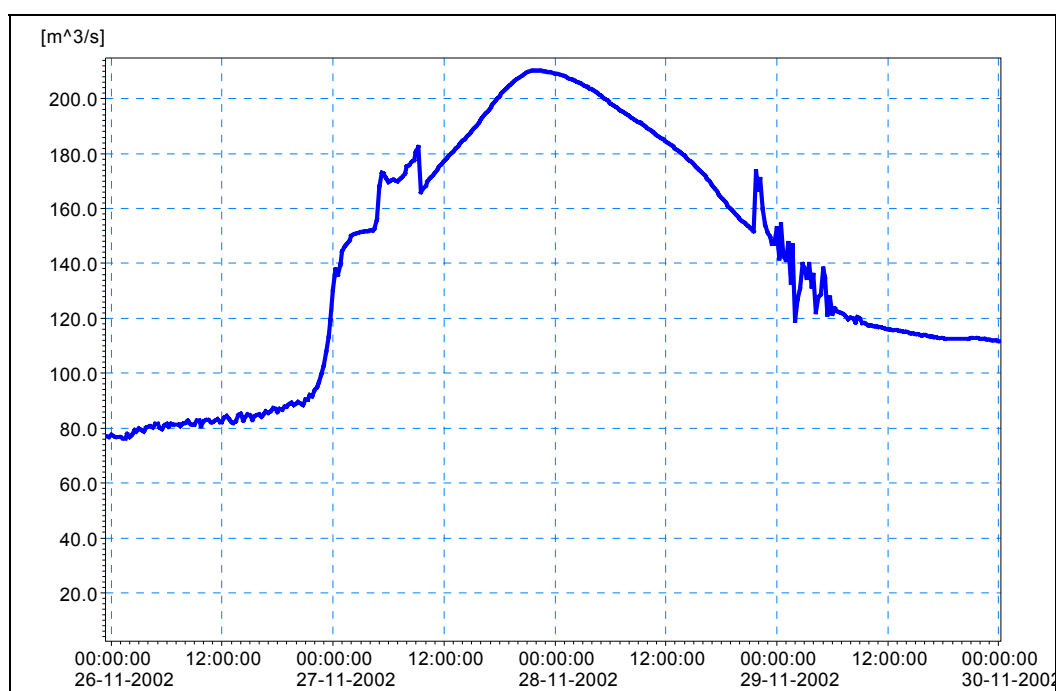


**Figura 20: Idrogramma alla sezione LA78, Ponte via Feltre, per T= 200 anni. (In colore rosso è rappresentato l'idrogramma nelle aree di allagamento)**

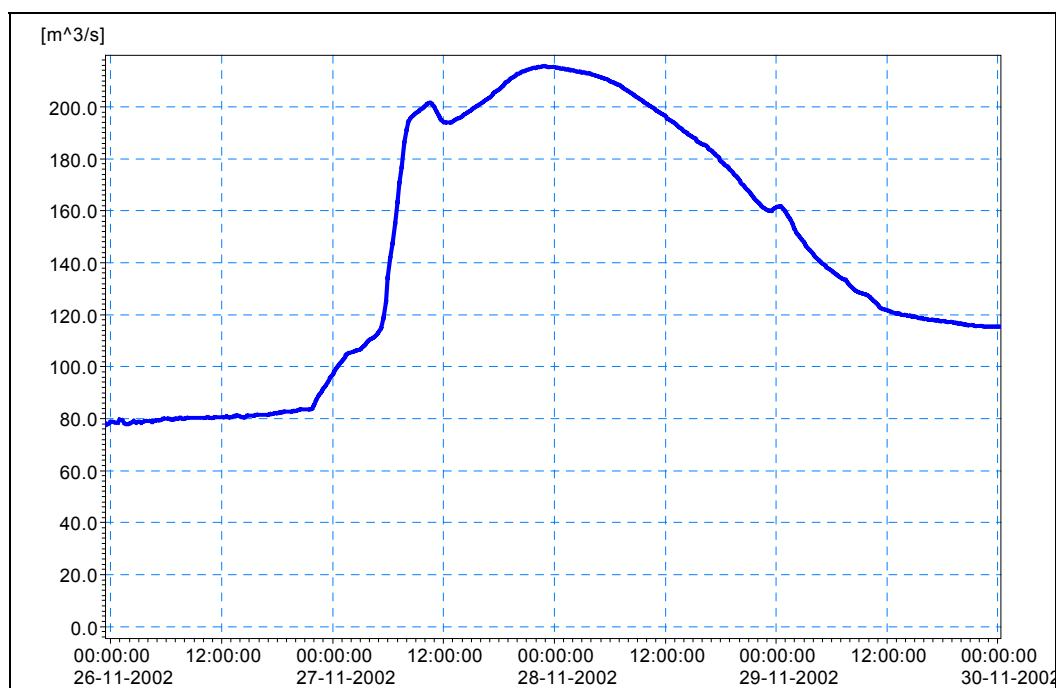




**Figura 21: Idrogramma alla sezione LA74, ponte FFSS a Milano, per T= 200 anni.**



**Figura 22: Idrogrammi alla sezione LA60, a monte confluenza Deviatore Redefossi, per T= 200 anni.**



**Tabella 4: Portate al colmo e volumi in alcune sezioni del Lambro per T=200**

Sezione	Descrizione	Q (T=200) [m <sup>3</sup> /s]	Q comp. [m <sup>3</sup> /s]	V totale [m <sup>3</sup> ]	V eccesso [m <sup>3</sup> ]
LA132.19	Uscita lago di Pusiano	48	15	33.600.000	12.300.000
LA128	A valle confluenza Bevera Molteno	122	45	44.000.000	4.300.000
LA100.2	Ponte S. Giorgio Villasanta	189	90	52.000.000	5.700.000
LA91	Ponte A4	295	120	84.000.000	6.200.000
LA78	Ponte via Feltre	314	125	130.000.000	14.000.000
LA74	Ponte FFSS Milano-Treviglio	210	150	137.000.000	5.500.000
LA60	Confluenza Deviatore Redefossi	215	215	140.000.000	-

Nella successiva Tabella 5 vengono, viceversa, riportati per alcune sezioni caratteristiche, i livelli e le portate al colmo nello stato attuale, per diversi tempi di ritorno (10, 200 e 500 anni).

Si sottolinea che l'incremento di volume tra la sezione LA91 e la sezione LA78 è in gran parte dovuto all'onda proveniente dal Naviglio Martesana.

Nello schema a blocchi riportato in allegato, contenente i principali elementi del modello idrologico del Lambro, sono riportati in alcuni tratti i valori delle portate al colmo per il tempo di ritorno 200 anni

**Tabella 5: Livelli e portate al colmo in alcune sezioni del Lambro per T=10, 200, 500 (i valori di portata sono approssimati a multipli di 5 rispetto ai risultati del modello)**

Sezione	Descrizione	T=10		T=200		T=500	
		Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
LA 132.19	uscita Lago di Pusiano	261.28	5	263.31	50	263.31	50
LA 132.11	Ponte S.P. 41 -Merone	260.57	5	262.34	60	262.37	60
<b>LA132</b>		<b>245.75</b>	<b>10</b>	<b>246.77</b>	<b>75</b>	<b>246.89</b>	<b>80</b>
LA 129.2	confluenza Bevera Molteno	243.19	30	244.32	120	244.65	165
LA 127	Ponte via Dante - Lambrugo	241.07	30	243.20	120	243.95	160
LA 124.3	Ponte S.S. 342 (Briantea)	238.93	35	240.69	115	241.25	150
LA 120.1	Ponte via Camisasca - Inverigo	235.37	50	237.71	135	238.45	160
LA 117.1	Ponte S.P. 42	233.46	65	234.37	150	234.66	180
LA 111	Ponte via Garibaldi – Verano Brianza	215.51	65	217.10	155	217.76	190
LA 109	Ponte via Fiume - Carate Brianza	205.73	70	207.01	155	207.48	190
LA106.3	Ponte strada comunale – Triuggio	197.45	70	198.72	155	199.10	190
LA 104.1	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	188.94	75	190.71	165	191.01	200
LA 102	Ponte vecchio - Biassono	180.50	80	182.88	175	183.59	210
LA 100.2	Ponte S. Giorgio - Villasanta	172.57	80	172.86	190	172.89	225
LA97.3	Ponte ad arco via Cavriga Villasanta	163.53	80	164.97	195	165.55	225
LA96.1	Ponte ad arco via Cantore –	160.89	85	162.73	200	162.96	230

Sezione	Descrizione	T=10		T=200		T=500	
		Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Livello (m s.l.m)	Portata (m <sup>3</sup> /s)
	Monza						
LA94.4	Ponte FFSS - Monza	156.51	45+40	158.17	110+100	158.85	125+110
LA93.3	Ponte canale Villoresi	153.42	100	155.05	215	155.30	235
LA91	Ponte A4	146.18	160	147.94	295	148.08	320
LA90.1	Ponte S. Maurizio - Cologno Monzese	145.64	155	146.10	295	146.16	320
LA88.1.1	Ponte Tangenziale Nord	140.54	155	140.91	295	141.92	320
LA84.1	Ponte via Di Vittorio Sesto San Giovanni	133.01	170	134.02	330	134.26	340
LA82.1.2	Ponte canale Naviglio Martesana	127.50	165	128.60	310	128.94	335
LA78	Ponte via Feltre - Milano	118.91	180	120.02	315	120.20	340
LA77.2	Ponte via Rombon - Milano	117.79	190	118.72	315	118.77	340
<b>LA76</b>	<b>Ponte ex – Innocenti</b>	<b>115.11</b>	<b>190</b>	<b>116.99</b>	<b>325</b>	<b>117.32</b>	<b>330</b>
LA73.4	Ponte FF.SS. - Milano	113.14	155	114.65	210	114.90	230
LA72.4	Ponte via Forlanini - Milano	109.55	155	110.02	205	110.05	225
LA70	Ponte via Vittorini - Milano	104.86	115	105.01	205	105.01	225
LA67	Traversa di Bolgiano - Milano	100.75	115	100.82	210	100.83	230
LA65.2	Ponte S.S. 415	98.07	115	98.17	210	98.19	230
LA60	Traversa a monte Deviatore Redefossi	93.01	125	93.75	215	93.78	240

## 4.2 CONFRONTO FRA LE PORTATE DEL MODELLO E LE PORTATE DEL PAI VIGENTE

La direttiva n. 2 del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del fiume Po di Parma, denominata *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”*, contiene nella tabella n. 6 le portate al colmo per il fiume Lambro in alcune sezioni, in particolare:

- sez. LA132 →  $Q(T=200 \text{ anni}) = 120 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q(T = 500 \text{ anni}) = 140 \text{ m}^3/\text{s}$
- sez. LA76 →  $Q(T = 200 \text{ anni}) = 550 \text{ m}^3/\text{s}$ ;  $Q(T = 500 \text{ anni}) = 630 \text{ m}^3/\text{s}$

Confrontando tali valori con quelli determinati con l'attuale modello idrologico-idraulico (valori in grassetto nella tabella 5) si osservano notevoli differenze, in particolare per  $T = 200$  anni si ha (discorso analogo è valido anche per  $T = 500$  anni):

- sez. LA132:  $Q_{PAI} = 120 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{attuale} = 75 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- sez. LA76:  $Q_{PAI} = 550 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $Q_{attuale} = 325 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Per quanto riguarda la sezione LA76 si sottolinea il fatto che a valle della stessa la portata si riduce fino a valori pari a  $205 \div 210 \text{ m}^3/\text{s}$  a causa dell'effetto della sezione di controllo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario a valle della sezione LA74 e della diversa composizione delle onde tra alveo inciso e aree di allagamento.

Le differenze sopra riportate sono dovute essenzialmente alla diversa costruzione dei modelli matematici utilizzati:

- il PAI è stato impostato sull'utilizzo in serie di un modello idrologico afflussi-deflussi per il calcolo delle onde di piena nell'asta fluviale di assegnato tempo di ritorno e di un modello idraulico di propagazione delle onde di piena lungo i diversi tratti del reticolo idrografico di interesse;
- il modello qui descritto è un modello idrologico-idraulico dell'asta principale, il quale consente di riprodurre contemporaneamente i diversi meccanismi di formazione delle piene nei sottobacini urbani ed extraurbani e i fenomeni propagatori che alterano le stesse onde di piena in funzione delle numerose limitazioni di sezione, spesso accompagnate da esondazioni.

Si conclude quindi affermando che l'approccio puramente idrologico porta a determinare valori di portata al colmo superiori rispetto a quelli ottenuti considerando un unico modello idrologico-idraulico, in quanto non è in grado di tenere in considerazione gli effetti delle limitazioni di sezioni e l'effetto d'invaso delle esondazioni. Tale differenza è ben evidenziata nella tabella 1 dove è possibile confrontare i valori della portata idraulica e della portata idrologica; quest'ultima è stata calcolata nell'ipotesi di alveo idoneo al contenimento della piena in ogni sezione ed in assenza di ostacoli al deflusso.

Pertanto il modello proposto con il presente studio ed i risultati ottenuti portano a ridefinire i valori delle piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica.

#### 4.3 PONTI

Come ripetutamente esposto la presenza di numerosi ponti con luci libere generalmente insufficienti al passaggio della piena, assume nel Lambro importanza decisiva ai fini del comportamento idraulico del fiume per piene di elevato tempo di ritorno. Con riferimento alle portate con tempo di ritorno di 200 anni, la seguente Tabella 6 presenta i dati caratteristici di tutti i ponti esistenti nell'asta del Lambro di interesse; in particolare si contano 106 attraversamenti, di cui solo 24 con franco adeguato (differenza fra la quota dell'intradosso del ponte e il livello di massima piena superiore a 1 m) e ben 61 (60 % del totale) con funzionamento in pressione o con sormonto. Tale dato è significativo di quanto soprariportato in termini di influenza dei manufatti (ponti e traverse) sul regime fluviale del Lambro.

**Tabella 6: Analisi delle insufficienze dei manufatti di attraversamento. (Il franco negativo indica che il livello idrico si trova sotto il livello di intradosso del ponte. La differenza di livello sul piano stradale indica, se negativa, che il livello idrico si trova sotto il piano stradale)**

SEZIONE	CARATTERISTICHE SEZIONE	LIVELLO A MONTE DEL PONTE	FRANCO (cm)		LIVELLO SUL PIANO STRADALE (cm)	Stato idraulico (T=200)
			Intradosso (ponti rett.)	Chiave (ponti arco)		
LA 132.17	Passerella pedonale	263.30	154		134	scavalcato
LA 132.16	Ponte S.P. 41	263.28	-52		-157	a pelo libero senza franco
LA 132.14	Tubo Snam	263.17	-183			a pelo libero con franco
LA 132.13	Ponte strada comunale - Merone	263.12		27	-70	in pressione
LA 132.11	Ponte S.P. 41	262.34	-442		-766	a pelo libero con franco
LA 132.9	Ponte strada comunale - Merone	260.68	-32		-142	a pelo libero senza franco
LA 132.8	Tubazione aerea	259.25	-275			a pelo libero con franco
LA 132.6	Passerella Pedonale	255.57	-413		-483	a pelo libero con franco
LA 132.5	Ponte via Marconi - Merone	253.13		-22	-157	a pelo libero senza franco
LA 129.5	Tubazione aerea	246.68	-232			a pelo libero con franco
LA 129.3	Ponte strada comunale - Merone	246.66	177		46	scavalcato
LA 127	Ponte via Dante - Costa Masnaga	243.20		57	-23	in pressione
LA 124.3	Ponte S.S. 342 (Briantea)	240.69	-8		-201	a pelo libero senza franco
LA 124.1	Ponte via Magni - Inverigo	239.41	-4		-149	a pelo libero senza franco
LA 121.2	Ponte strada comunale - Inverigo	238.02		-268	-388	a pelo libero con franco
LA 120.1	Ponte via Camisasca - Inverigo	237.71		51	-99	in pressione
LA 117.1	Ponte S.P. 42	234.37	-1623		-1803	a pelo libero con franco
LA 116.1	Ponte via Rossini - Briosco	233.17	-211		-353	a pelo libero con franco
LA 114.4	Passerella pedonale	230.70	-46		-170	a pelo libero senza franco
LA 114.5	Passerella ped. in ferro	230.40	-214		-377	a pelo libero con franco
LA 113.1	Passerella pedonale	225.00	-80		-90	a pelo libero senza franco
LA 111.2	Passerella pedonale	217.66	-4		-14	a pelo libero senza franco
LA 111	Ponte via Garibaldi - Verano Brianza	217.10		74	-90	in pressione
LA 110.1.1	Tubazione aerea	213.37	-313		-333	a pelo libero con franco
LA 109.4	Ponte via Grotte - Carate Brianza	213.29		177	-11	in pressione
LA 109.2	Ponte via Da Vinci - Carate Brianza	209.28	-63		-122	a pelo libero senza franco
LA 109	Ponte via Fiume - Carate Brianza	207.01		-72	-274	a pelo libero senza franco

SEZIONE	CARATTERISTICHE SEZIONE	LIVELLO A MONTE DEL PONTE	FRANCO (cm)		LIVELLO SUL PIANO STRADALE (cm)	Stato idraulico (T=200)
			Intradosso (ponti rett.)	Chiave (ponti arco)		
LA 108.4	Ponte pedonale - Carate Brianza	206.85	160		84	scavalcato
LA 106.3	Ponte strada comunale - Triuggio	198.72	-132		-278	a pelo libero con franco
LA 104.1	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	190.71		-1076	-1239	a pelo libero con franco
LA 104.0	Tubazione aerea	190.44	80		44	scavalcato
LA 103.3	Ponte strada comunale - Triuggio	190.34		184	114	scavalcato
LA 102.5	Ferrovia Serigno-Usmate	183.63	-1667		-2165	a pelo libero con franco
LA 102.1	Ponte nuovo - Biassono	183.27	197		57	scavalcato
LA 102	Ponte vecchio - Biassono	182.88		117	-72	in pressione
LA 101.6	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	178.80		-121	-330	a pelo libero con franco
LA 101	passerella pedonale	173.75	84		-73	in pressione
LA 100.2	Ponte S. Giorgio - Villasanta	172.86		41	-184	in pressione
LA 100.1	Ponte dei Bertoli	172.05		42	-123	in pressione
LA99.2	ponte stradale in c.a. Villasanta	167.14	-166		-227	a pelo libero con franco
LA97.3	ponte ad arco via Cavriga Villasanta	164.97		-36	-201	a pelo libero senza franco
LA97.1	ponte pedonale ad arco nel parco (ponte delle catene)	164.04		-6	-31	a pelo libero senza franco
LA96.3	ponte stradale via Montecassino Monza	163.61		72	-40	in pressione
LA96.1	ponte ad arco via Cantore	162.73		-17	-96	a pelo libero senza franco
LA95.5	ponte ad arco via Zanzi Monza	160.98		-136	-212	a pelo libero con franco
LA95.4	ponte via Aliprandi - Monza	160.80		-60	-205	a pelo libero senza franco
LA95.2.1	Ponte via De Amicis - Monza	159.62		-26	-123	a pelo libero senza franco
LA95.2	Ponte via V. Emanuele - Monza	159.42		71	-107	in pressione
LA95.1	Ponte via Colombo - Monza	158.91	121		-40	in pressione
LA94.6	Ponte - Monza	158.24	-18		-48	a pelo libero senza franco
LA94.5	ponte via Visconti e FS Monza-Lecco	158.17		-3	-225	a pelo libero senza franco
LA94.2.1	passerella	157.90	252		240	scavalcato
LA94.2	ponte stradale via Mentana-Monza	156.58	85		-68	in pressione
LA93.3	Ponte canale Villoresi	155.05		85	-213	in pressione

SEZIONE	CARATTERISTICHE SEZIONE	LIVELLO A MONTE DEL PONTE	FRANCO (cm)		LIVELLO SUL PIANO STRADALE (cm)	Stato idraulico (T=200)
			Intradosso (ponti rett.)	Chiave (ponti arco)		
LA91.2.2 LA91.2.1	ponti via Montesanto - Monza	149.20	165		-75	in pressione
LA91.1	Ponte a monte A4	148.24	234		80	scavalcato
LA91	Ponte A4	147.94	176		24	scavalcato
LA90.1	ponte di S. Maurizio al Lambro - Cologno M.	146.10	210		60	scavalcato
LA88.1.1	ponte tangenziale	140.91	-149		-330	a pelo libero con franco
LA88.1	ponte tangenziale	140.80	-150		-330	a pelo libero con franco
LA87.1	ponte accesso cava	140.80	-169		-333	a pelo libero con franco
LA87	ponte accesso cava	140.19	-121		-386	a pelo libero con franco
LA84.1	ponte via Di Vittorio - Sesto San Giovanni	134.02	182		22	scavalcato
LA83.4	ponte stradale svincolo tangenziale - Cologno M.	133.47	-20		-168	a pelo libero senza franco
LA83.3	ponte stradale svincolo tangenziale - Cologno M.	132.93	-587		-887	a pelo libero con franco
LA83.2.1	ponte stradale svincolo tangenziale - Cologno M.	132.67	-273		-563	a pelo libero con franco
LA82.1.2	Ponte canale Martesana	130.19	354		154	scavalcato
LA81.5	raccordo tangenziale via Palmanova - Milano	128.70	246		80	scavalcato
LA81.4	raccordo tangenziale via Palmanova - Milano	127.85	185		-5	in pressione
LA81.3.1	raccordo tangenziale via Palmanova - Milano	127.26	126		-44	in pressione
LA81.3	passerella pedonale	126.61				a pelo libero senza franco
LA81.0.1	ponte ad arco in muratura accoppiato a ponte canale	125.37	227		117	scavalcato
LA80.1	ponte pedonale Parco Lambro	122.66	53		-87	in pressione
LA79.1	ponte stradale via Licata (Parco Lambro)	121.50		83	-63	in pressione
LA78	Ponte via Feltre - Milano	120.02		92	-8	in pressione
LA77.2	Ponte via Rombon - Milano	118.18	-92		-212	a pelo libero senza franco
LA77	Ponte via Folli - Milano	118.60		180	80	scavalcato
LA76.1.1	Ponte ex-Innocenti	117.71	380		17	scavalcato
LA76.1	Ponte ex-Innocenti	117.12	352		105	scavalcato
LA76	Ponte ex-Innocenti	116.99	367		168	scavalcato
LA75.1	Ponte ex-Innocenti	116.98	393		193	scavalcato
LA75	Ponte via Rubattino	116.96	402		-54	in pressione
LA74.3	Trave di sostegno piloni tangenziale	116.31	249		-14	in pressione

SEZIONE	CARATTERISTICHE SEZIONE	LIVELLO A MONTE DEL PONTE	FRANCO (cm)		LIVELLO SUL PIANO STRADALE (cm)	Stato idraulico (T=200)
			Intradosso (ponti rett.)	Chiave (ponti arco)		
LA74.2	Trave di sostegno piloni tangenziale	116.27	254		-18	in pressione
LA74.1	Ponte via Cima	116.25	241		141	scavalcato
LA73.4	Ponte FS	114.65	-382		-644	a pelo libero con franco
LA73.3	Ponte FS	114.64		241	39	scavalcato
LA73.2	Ponte via Corelli	112.01	-59		-317	a pelo libero senza franco
LA72.4	Ponte via Forlanini	110.02	158		-122	in pressione
LA72.3	Ponte svincolo tangenziale	109.56	99		-101	in pressione
LA72	Ponte Monluè	109.13		143	27	scavalcato
LA71.1	Ponte via Fantoli	108.01	38		-64	in pressione
LA70.1	Ponte servizi	105.01	33		-206	in pressione
LA70	Ponte via Vittorini	105.01	151		-22	in pressione
LA65.2	Ponte S.S. 415	98.17	-253		-495	a pelo libero con franco

#### LAMBRETTO

LA94.3.8	Ponte via Annoni - Monza	160.84	206		77	scavalcato
LA94.3.7	Ponte via Villa - Monza	160.65	240		111	scavalcato
LA94.3.6	Ponte via Lecco - Monza	160.15		130	51	scavalcato
LA94.3.5.2	ponte accesso condomino - Monza	159.61	49		-42	in pressione
LA94.3.5.1	ponte accesso condomino - Monza	159.44	32		-55	in pressione
LA94.3.5	Ponte via Bergamo - Monza	159.44		44	-41	in pressione
LA94.3.4	passerella parco privato - Monza	159.03	48		6	scavalcato
LA94.3.3	Ponte via Grassi - Monza	158.90	146		0	in pressione
LA94.3.2	Passerella pedonale - Monza	158.45	77		28	scavalcato
LA94.3.1.2	Ponte FS - Monza	158.40	118		18	scavalcato
LA94.3.1.1	Ponte FS - Monza	158.37	195		105	scavalcato

#### 4.4 PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI ALLAGAMENTO

Confrontando il valore del livello idrico calcolato nelle diverse sezioni con le sezioni rilevate e con la cartografia aerofotogrammetrica comunale a scala 1:2.000, sono state perimetrate le aree di allagamento per i tempi di ritorno T=10 anni, T=200 anni e T= 500 anni. La perimetrazione ha tenuto anche conto di tutte le informazioni acquisite tramite sopralluoghi diretti o desunte dalle informazioni storiche.



I risultati ottenuti dipendono congiuntamente dal carattere estensivo dello studio in oggetto e dalla natura degli schemi modellistici utilizzati per le diverse situazioni idrauliche. È quindi importante valutare il livello di affidabilità di tali risultati attesa la notevole influenza che gli stessi presentano per la disciplina urbanistica delle aree interessate dalle fasce di pertinenza fluviale.

Ovviamente l'estensione di tali aree dipende sia dai livelli idrici calcolati sia dalla conoscenza della topografia dei luoghi interessati. L'affidabilità delle simulazioni è quindi maggiore allorché la corrente di piena è integralmente contenuta in alvei incisi di adeguata capacità, o in alvei dotati di golene definite da morfologia sicura, piuttosto che nei casi in cui l'alveo inciso percorre aree pianeggianti per le quali l'incertezza ineludibile dei calcoli idraulici si somma all'incertezza della delimitazione delle aree allagabili.

A ciò si aggiunga l'incertezza delle simulazioni idrauliche di correnti di allagamento che percorrono aree urbane in cui il movimento, influenzato dalla presenza di edificazioni e dalle particolarità delle superfici di scorrimento, si suddivide in molteplici subcorrenti di difficile se non impossibile modellazione.

Per tali motivi la perimetrazione delle aree allagabili qui di seguito presentata deve ritenersi affetta da precisione decrescente all'aumentare del tempo di ritorno della piena di riferimento e all'aumentare del carattere pianeggiante e urbano delle superfici interessate.

Le aree di allagamento sono riportate nelle cartografie a scala 1:10.000 che costituiscono l'elaborato 5.2.2/4/1C/LA1.

L'analisi puntuale di tali cartografie chiarisce il comportamento del fiume nei diversi punti di interesse.

Qui di seguito viene presentata una descrizione sintetica delle zone soggette ad allagamento, mentre nel paragrafo successivo viene analizzato con maggior dettaglio il comportamento idraulico di alcune aree particolarmente significative.

### ***Allagamenti nel tratto 1, tra il lago di Pusiano e il comune di Villasanta***

In generale, per eventi di tempo di ritorno 200 anni, si evidenzia come nei territori compresi tra il lago di Pusiano ed il comune di Villasanta si riscontrino allagamenti diffusi con l'interessamento di vaste aree.

Nel territorio del Comune di Lambrugo le zone di inondazione sono molto estese, a partire dalla sezione LA126.1. Si riducono in ampiezza solo alla sezione LA 124.4 per la presenza del colle su cui si trova la località Carpanea del Comune di Inverigo che riconvaglia l'espansione destra verso il corso del Lambro. Rimangono comunque esondazioni in sponda sinistra fino al ponte sulla S.S. 342.

Tale area di esondazione ha un'estensione di circa 30 ettari e un volume pari a circa 300.000 m<sup>3</sup>.

Subito a valle del ponte la zona esondabile si riallarga su ampie aree anche per la presenza della briglia (sezione LA 124.2), dove esisteva un'antica derivazione ora ostruita, e un

ponete, su strada campestre, con pila in alveo (sezione LA 124.1). Nella foto seguente è riportato il funzionamento del ponte durante l'evento dell'autunno 1996.

**Foto 9: Ponte alla sezione LA124.1**



In territorio del Comune di Inverigo, in sponda destra, e nei comuni di Nibionno e di Veduggio, in sponda sinistra, le aree interessate dall'evento di piena sono molto ampie. In pratica si ha un'area di allagamento continua, dalla sezione LA124.3 fino alla sezione LA117.3.

L'estensione di tale area di esondazione naturale è pari a circa 110 ettari e il volume disponibile è pari a circa 1.000.000 m<sup>3</sup>. Prendendo come limite inferiore la sezione LA120.1, ponte di via Camisasca di Inverigo, si ha che l'area di esondazione risulta essere pari a 80 ettari e il volume interessato è pari a circa 800.000 m<sup>3</sup>.

Il fiume Lambro nel tratto di confine tra i comuni di Inverigo e Briosco tende a rettificare il suo corso in caso di piena allagando tutte le aree interne ai meandri, lambendo l'abitato della frazione Fornaci del Comune di Briosco.

Nei territori dei comuni di Verano Brianza, Agliate, Albiate e Sovico, il corso fluviale prosegue abbastanza incassato senza allagamenti apprezzabili; si allagano solo le zone a ridosso dell'alveo che in alcuni casi risultano abitate.

Si riscontrano nuovamente allagamenti diffusi nei pressi del comune di Lesmo e di Villasanta.

In comune di Lesmo l'area di esondazione naturale ha un'estensione pari a circa 20 ettari e un volume utile pari a circa 100.000 m<sup>3</sup>.

In alcuni tratti, sono riscontrabili allagamenti localizzati dovuti alla presenza di traverse di alimentazione di antichi mulini o all'insufficienza idraulica di ponti che producono l'innalzamento del livello idrico della corrente verso monte. In particolare tali allagamenti si riscontrano in località Baggero (comune di Merone), nella frazione Agliate del comune di Carate Brianza, lungo la cartiera Villa in comune di Briosco, in prossimità del ponte di Albiate e del ponte di San Giorgio di Villasanta.

#### ***Allagamenti nel tratto 2, tra Villasanta e il ponte dell'autostrada A4***

Proseguendo verso valle si hanno esondazioni diffuse su tutto il territorio di Monza, a partire dalla zona del parco, coinvolgendo il territorio del centro abitato di Monza (soprattutto in destra idraulica) e le aree naturali poste tra il Canale Villoresi e l'autostrada A4, in destra e sinistra.

L'intera superficie del territorio di Monza interessato da allagamenti è pari a circa 300 ettari (95 ha nel parco di Monza, 160 ha nel centro abitato di Monza e 45 ha nella zona sud).

Considerando unicamente le aree di esondazioni censite come aree di espansione naturale si ottiene un volume di invaso pari a circa 500.000 m<sup>3</sup> all'interno del Parco di Monza e circa 250.000 m<sup>3</sup> per quanto riguarda l'area sud.

Si evidenzia come tali volumi siano irrilevanti rispetto alle necessità di laminazione del Lambro. Il volume eccedente la portata compatibile del tronco in esame e in quello successivo è pari infatti a circa 6.000.000 m<sup>3</sup> (cfr. Tabella 4 del paragrafo 4.1).

#### ***Allagamenti nel tratto 3, tra il ponte dell'autostrada A4 e Cascina Gobba***

In tale tratto si verifica l'allagamento nei comuni di Brugherio, Cologno Monzese e Sesto San Giovanni, dovuto principalmente all'effetto combinato del rigurgito di alcuni manufatti interferenti (soprattutto il ponte di via S. Maurizio, sezione LA90.1) e di livelli spondali insufficienti a contenere i livelli di piena in alcuni tratti (soprattutto in sponda sinistra a monte del ponte LA90.1).

L'intera estensione dell'allagamento è pari a circa 650 ha, di cui 450 in comune di Cologno Monzese.

All'interno di tale tratto non esistono aree apprezzabili da destinare ad espansione naturale, ad eccezione della cava Melzi.

#### ***Allagamenti nel tratto 4, tra Cascina Gobba e il ponte di viale Forlanini a Milano***

In tale tratto si verificano notevoli allagamenti in comune di Milano, che interessano aree urbane (zona di Lambrate) ed extraurbane (Parco Lambro), causati dalle limitate dimensioni dell'alveo inciso e della presenza di numerosi manufatti che ostacolano il deflusso riducendo ulteriormente la sezione utile (ponti) e che limitano la pendenza dell'alveo riducendone la conducibilità idraulica a parità di altezza idrometrica (traverse e soglie).

La situazione del Lambro nei suoi attraversamenti urbani è complessa e pertanto non sempre è possibile definire quale sia il manufatto (ponte) determinante le maggiori limitazioni.

Nel territorio ad est di Milano il Lambro scorre in campagna in un alveo ordinario tendenzialmente rettilineo privo di arginature significative e, soprattutto, privo di terrazzamenti naturali che ne confinino l'espansione entro un limite ben preciso. In questa fascia, quindi, si verificano esondazioni diffuse su tutto il territorio attraversato.

L'estensione delle superfici interessate dagli allagamenti è pari a circa 650 ettari, così suddivisi: 90 ha all'interno del Parco Lambro, 420 ha nella zona di Lambrate (in sinistra e in destra idraulica, da via Feltre fino al ponte della linea FFSS Milano-Treviglio) e 140 ha tra la linea ferroviaria e il ponte di viale Forlanini.

Considerando solo l'esondazione al Parco Lambro, la porzione che potrebbe essere definita come area di espansione naturale ha un'estensione pari a circa 70 ha e un volume utile d'invaso pari a circa 700.000 m<sup>3</sup>. Anche in questo caso il volume disponibile è esiguo rispetto alle necessità di laminazione per ridurre le esondazioni nel tratto in attraversamento a Milano, in quanto il volume in eccesso è pari a circa 14.000.000 m<sup>3</sup> (cfr. Tabella 4 del paragrafo 4.1).

#### ***Allagamenti nel tratto 5, tra viale Forlanini a Milano e la confluenza con il Deviatore Redefossi***

In tale tratto, differente dal precedente per il fatto che il Lambro scorre in un ambito meno urbanizzato, si verificano ulteriori allagamenti in comune di Milano e nei comuni di Peschiera Borromeo e San Donato Milanese.

L'estensione complessiva di tali allagamenti è pari a circa 630 ettari ed include fra l'altro parte dell'aeroporto di Linate, e le frazioni Monluè e Ponte Lambro.

Tali allagamenti sono causati essenzialmente dalle limitate dimensioni dell'alveo inciso e della presenza di numerosi manufatti che ostacolano il deflusso riducendo ulteriormente la sezione utile (ponti) e che limitano la pendenza dell'alveo riducendone la conducibilità idraulica a parità di altezza idrometrica (traverse e soglie).

#### ***Sintesi***

Dal quadro d'insieme descritto appare evidente come i vincoli imposti dall'urbanizzazione, ormai da considerare inalienabili, lascino possibilità assai ridotte per interventi di adeguamento delle sezioni d'alveo. Certamente alcuni ponti ed attraversamenti fortemente limitanti sono da correggere per risanare talune situazioni critiche puntuali. Per conseguire il richiesto grado di sicurezza delle vaste aree abitate oggi soggette a frequenti allagamenti situate nelle aree metropolitane, risultano assolutamente indispensabili soluzioni atte a ridurre la portata (scolmatori, diversivi, invasi, ecc.) entro valori compatibili con i manufatti e l'edificazione presenti.

Per quanto riguarda la possibilità di utilizzare gli invasi naturali presenti lungo l'alveo, nella tabella successiva, vengono riportate per le principali aree di espansione naturale le estensioni ed i relativi volumi invasabili allo stato attuale, senza pertanto considerare possibilità di approfondimento del piano campagna o ulteriore innalzamento dei livelli con opere trasversali.

**Tabella 7: Superfici e volumi delle aree di espansione naturale**

<b>LOCALITA'</b>	<b>DA SEZIONE</b>	<b>A SEZIONE</b>	<b>AREA (HA)</b>	<b>VOLUME (m<sup>3</sup>)</b>
LAMBRUGO	LA126.1	LA124.4	30	300.000
NIBIONNO, INVERIGO	LA124.3	LA120.1	80	800.000
VEDUGGIO	LA120.1	LA117.3	30	200.000
LESMO	LA102.4	LA101.8	20	100.000
PARCO DI MONZA	LA100.1	LA96.4	95	500.000
MONZA SUD	LA93.3	LA91.3	45	250.000
PARCO LAMBRO	LA81	LA78	70	700.000
<b>TOTALE</b>			<b>370</b>	<b>2.850.00</b>

## **5 ANALISI DETTAGLIATA DI SITUAZIONI DI ALLAGAMENTO SIGNIFICATIVE**

### **5.1 INCILE DAL LAGO DI PUSIANO**

L'incile del fiume Lambro dal lago di Pusiano è inserito in una zona che, oltre a presentare un profilo di fondo sub-orizzontale, è molto pianeggiante, in parte paludosa e priva di protezioni arginali. Il tracciato del fiume Lambro nella zona risulta caratterizzato da sezioni insufficienti per gli eventi di piena, molto intrecciato e ramificato. Tale zona, a monte del ponte della SP 41 (sezione LA 132.11), è una vasta area esondabile che, in caso di piena, è più facile considerare normale espansione del lago di Pusiano piuttosto che fiume Lambro. Il ponte della S.P. 41 può pertanto essere considerato la vera sezione di inizio del Lambro sublacuale. In tale sezione si narra fosse in opera la storica "pietra di S. Giovanni" che delimitava l'incile del lago. Il modello idrologico-idraulico ha fornito un valore di portata all'inizio del tratto sublacuale del Lambro pari a  $48 \text{ m}^3/\text{s}$  per l'evento duecentennale, a cui corrisponde un livello del lago pari a 263.4 m s.m.. Si sottolinea che lo Studio Paoletti ha in atto uno studio, per conto della Regione Lombardia, della regolazione ottimale del lago di Pusiano avente lo scopo di individuare i criteri gestionali delle opere idrauliche esistenti tra le sezioni LA 132.10 e LA 132.8 atti a esaltare l'effetto laminante del lago compatibilmente con il contenimento della portata effluente entro il valore di circa  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  e dei livelli lacuali entro i limiti di sicurezza degli abitati costieri (quota pari a 262.00 m s.m.). Precisamente, in tale nodo idraulico sono presenti due antiche traverse a soglia fissa, uno stramazzo tipo Bazin su un'antica derivazione laterale e una

chiusa, al di sotto di un porticato, gestita da privati. Il nodo idraulico determina verso monte un profilo di corrente lenta che governa l'uscita dal lago di Pusiano.

Nel tratto del fiume Lambro in Comune di Merone (CO) fino al citato nodo si hanno esondazioni dovute all'espansione lacustre in sponda destra, anche oltre il primo ponte sotto la S. P. 41. Successivamente il fiume, che riceve da destra la confluenza dell'emissario del lago di Alserio (con portata massima calcolata pari a circa  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ), non presenta problemi né di ulteriori esondazioni, né per gli attraversamenti, ad esclusione di un'area posta in destra idraulica a valle del ponte della strada provinciale SP41.

Risulta comunque fondamentale attuare un sistema di gestione del lago di Pusiano ottimizzato per le ricordate esigenze e funzionante in tempo reale in relazione alle caratteristiche preannunciate dell'evento pluviometrico ed all'effettiva dinamica pluvioidrometrica dello stesso nei bacini prelacuale e sublacuale.

## **5.2 CASSA DI ESPANSIONE DI MERONE SUL TORRENTE BEVERA DI MOLTEÑO**

Dalla sezione LA 131.2 inizia una prima area soggetta ad ampie e frequenti esondazioni posta sempre in Comune di Merone (località Baggero) al confine con il Comune di Costa Masnaga dove vi è la confluenza del torrente Bevera di Molteno (principale affluente del fiume Lambro nel tratto considerato). L'apporto del torrente, insieme alla presenza della briglia di sezione LA 129.3 che rallenta il deflusso, provoca in quest'area una ampia zona di allagamento con il fiume Lambro che, subito oltre la confluenza, in caso di piena tende a rettificare il suo percorso meandriforme come confermato da testimonianze dirette degli abitanti della zona.

Nella situazione attuale, con la realizzazione di parte del I° lotto della vasca di Merone ( $60.000 \text{ m}^3$ ), con lo spostamento della confluenza Bevera-Lambro (circa 1 chilometro) e con la riduzione della portata al colmo convogliata dalla Bevera (in caso di piena e di vasca vuota  $22.5 \text{ m}^3/\text{s}$  anziché i previsti  $28 \text{ m}^3/\text{s}$  per piene con tempo di ritorno 10 anni), viene limitata l'esondazione in località Baggero e si hanno benefici nei territori posti a valle della confluenza. Risulta peraltro fondamentale il completamento della cassa, fino a raggiungere il volume d'invaso complessivo, pari a  $1.400.000 \text{ m}^3$ .

## **5.3 AREE DI ALLAGAMENTO NATURALI IN COMUNE DI INVERIGO**

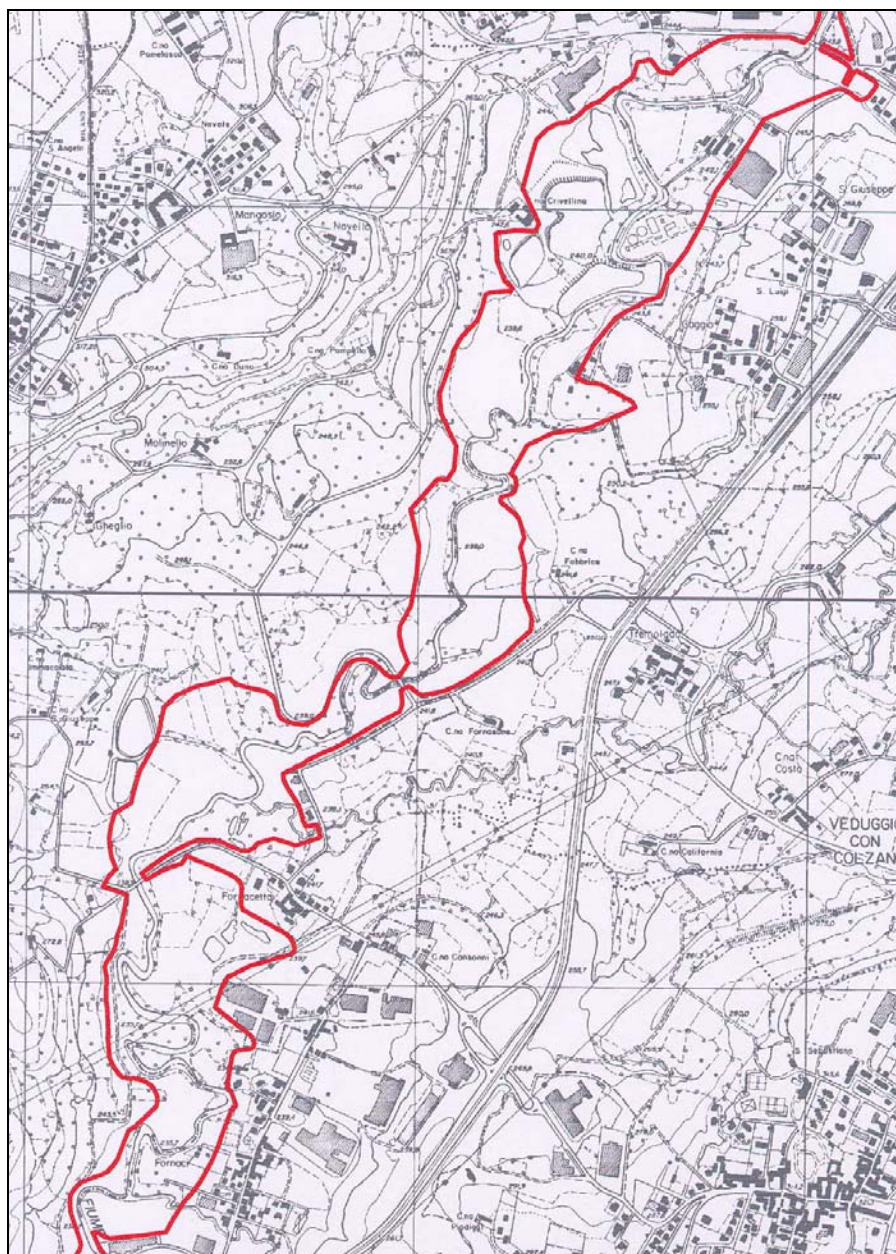
Nel comune di Inverigo è presente (cfr. figura 23) l'unica area di rilievo attualmente esistente in cui avviene l'esondazione naturale delle piene del Lambro e che pertanto deve essere assolutamente mantenuta ai fini della regimazione del Lambro verso valle. Infatti la laminazione degli affluenti non avrebbe effetti positivi se non combinata con il progressivo controllo della portata defluente a valle della confluenza della Bevera di Renate.



Attualmente, con riferimento all'evento duecentennale, l'effetto limitante del ponte LA 120.1 determina allagamenti diffusi nell'area a monte con volume di laminazione utile pari a  $800.000 \text{ m}^3$  ed una portata verso valle pari a circa  $130 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Gli interventi di progetto, di cui all'Attività 5.4.1, consistono unicamente in un adeguamento delle strutture del medesimo ponte in modo da realizzare un'opera di controllo che, tenendo conto della contemporanea presenza delle laminazioni indotte dalle previste casse di Merone e Molteno, mantenga per l'evento duecentennale i medesimi livelli idrici di allagamento, senza quindi creare ulteriori vincoli sul territorio rispetto a quelli già esistenti, ma limiti il colmo di portate verso valle a circa  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Figura 23: Area di allagamento per T=200 nei comuni di Inverigo, Nibionno e Veduggio**





## 5.4 CARTIERA VILLA

La ex cartiera “Villa” in comune di Briosco, rappresenta un caso significativo per descrivere gli effetti della pressione antropica sul reticolo a nord di Milano.

Il profilo di pelo libero compreso tra le sezioni LA 115 e LA 114.5 risulta influenzato dalla presenza di una briglia con giacitura obliqua rispetto al corso d’acqua, da una passerella con pile in alveo e dalle continue variazioni di larghezza d’alveo imposte dai muri dell’antica fabbrica. Le esondazioni e la loro entità dipendono pertanto da fattori locali e puntuali (es. breccia nei muri, finestre ai piani bassi, ecc.) in continua evoluzione.

## 5.5 FRAZIONE DI AGLIATE (COMUNE DI CARATE BRIANZA)

In corrispondenza della frazione di Agliate in comune di Carate Brianza (cfr. figura 24), il Lambro presenta particolari rischi di esondazione, esaltati dalle limitazioni intervenute progressivamente ad opera dell’uomo. La complessità del nodo di Agliate deriva anche dal carattere storico-monumentale del ponte di Agliate e della frazione abitata situata nel suo intorno.

La briglia (sezione LA110.3) situata a valle del ponte di Agliate (sezione LA111), avente l’ufficio di mantenere le quote di fondo alveo, provoca un profilo di rigurgito verso monte che raggiunge il ponte stesso, tanto che, per eventi di piena con tempo di ritorno di 200 anni, il ponte risulta avere un funzionamento in pressione.

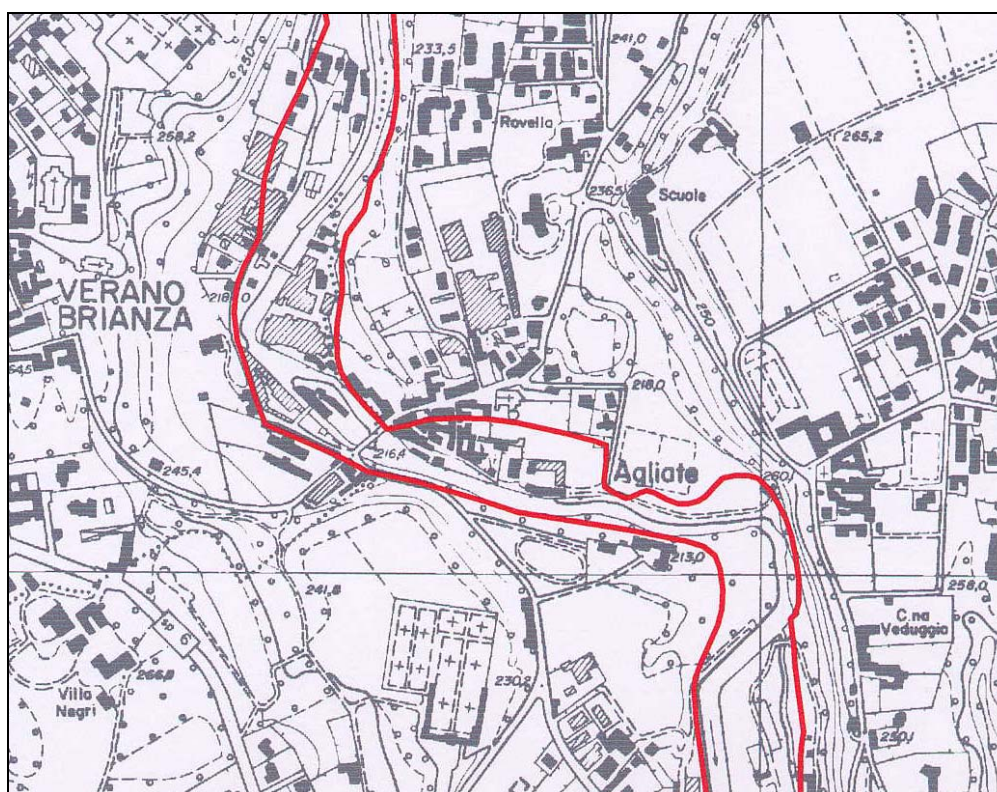
Il livello a valle del ponte è tale da oltrepassare il muro di sponda in sinistra idraulica, generando allagamenti nella zona posta a tergo di tale muro, compreso tra le sezioni LA110.4 e LA110.2, ove è presente un centro abitato (frazione di Agliate).

Inoltre, nonostante il ponte abbia cinque luci contribuenti al deflusso di piena, in realtà solo le due luci di sinistra (oltretutto, le più basse come quota della chiave dell’arco) contribuiscono al deflusso della corrente, mentre le altre sono in parte ostruite da deposito e anche dall’isolotto abitato ubicato a monte. Tale isolotto, che un tempo era compreso tra due rami del Lambro pressoché di uguale importanza che investivano tutte e cinque le luci del ponte, limita oggi quasi completamente l’officiosità del ramo di destra e concentra tutta la corrente del Lambro nel ramo di sinistra e nelle due luci prima citate. Ciò provoca il progressivo allungarsi dell’isolotto esistente e l’aumento di sedimentazioni.

Una tale situazione oltre a provocare allagamenti nelle aree circostanti il manufatto, crea una seria condizione di pericolo a causa degli effetti che potrebbe indurre un rovinoso e repentino crollo del ponte.

Il contenimento in alveo della portata di piena in frazione Agliate è oggetto di progettazione nell’ambito della legge 267/98.

**Figura 24: Area di allagamento per T=200 a Carate Brianza, fraz. Agliate**

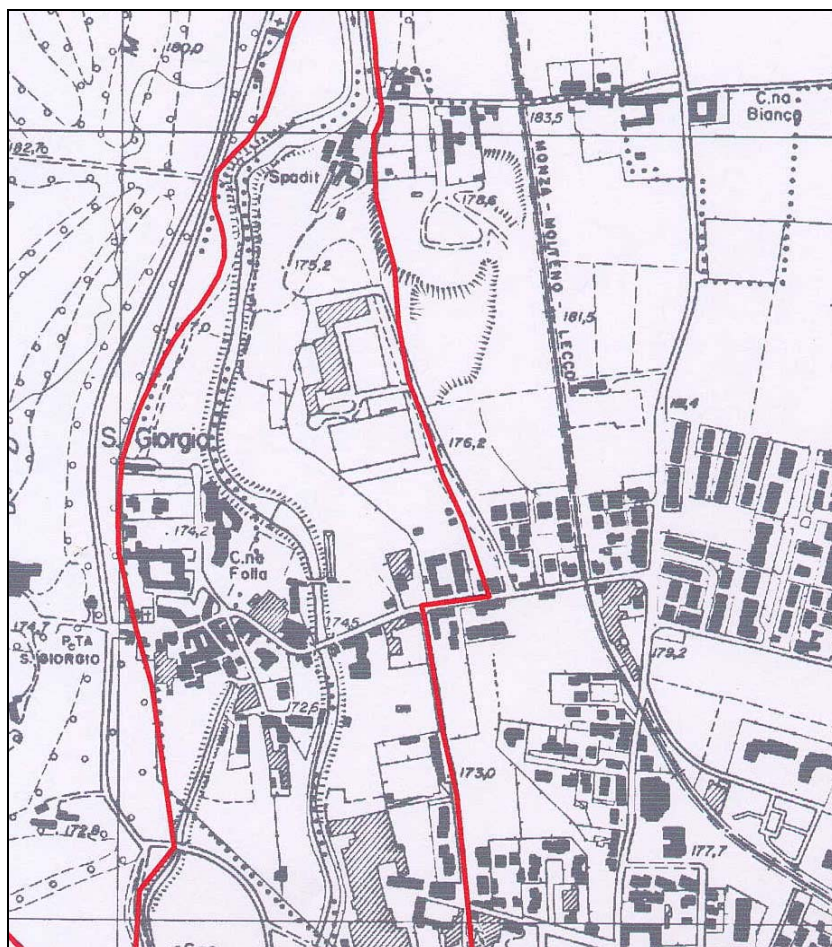


## 5.6 FRAZIONE S. GIORGIO (COMUNE DI BIASSONO-VILLASANTA)

In località S. Giorgio di Villasanta (cfr. Figura 25), il sistema formato dalla traversa LA100.1.1, dal ponte dei Bertoli (sezione LA100.1), dal ponte di San Giorgio (sezione LA100.2) e dall'attraversamento pedonale di sezione LA 101, induce sensibili insufficienze idrauliche. Il profilo di rigurgito provocato dalle dette opere, determina esondazioni nei pressi dell'abitato della medesima frazione, con interessamento di abitazioni, le quali risultano soggette ad allagamenti consistenti. Durante l'evento del novembre 2002 il livello di piena è stato tale per cui il piano terra di tali abitazioni era sommerso per circa 1.5-2 m, come emerge dalla foto seguente (segni evidenti fino a quasi la sommità della porta d'entrata).



**Figura 25: Area di allagamento per T=200 a Villasanta, fraz. S. Giorgio**



**Foto 10: Abitazioni soggette ad allagamento nei pressi del ponte di S. Giorgio**



Si sottolinea il fatto che la Regione Lombardia ha avviato da tempo la fase di progettazione per risolvere il presente nodo idraulico, per il quale si prevede la realizzazione di un by-pass del ponte dei Bertoli (di interesse storico e artistico) e l'abbattimento dei ponti LA101 e LA100.2, con rifacimento degli impalcati a quote compatibili con il livello di piena.

## 5.7 COMUNE DI MONZA

Il territorio del comune di Monza (cfr. figura 26), posto a valle del Parco di Monza, risulta essere interessato da ampie aree di allagamento con gravi e frequenti conseguenze per estese aree abitate del centro storico e limitrofe.

Conviene distinguere la situazione idraulica della città da quella delle aree situate a valle di essa e in particolare a valle dell'attraversamento del Canale Villoresi.

Nell'attraversamento della città di Monza il Lambro, considerando anche il contributo al deflusso garantito dal Lambretto, è fortemente insufficiente. La portata massima compatibile con i due detti corsi d'acqua, quale risulta in base alle caratteristiche idrauliche degli alvei completamente canalizzati e interessati da molti ponti anche a carattere storico (ad esempio il Ponte dei Leoni) è dell'ordine di  $80 \div 90 \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre la portata di riferimento duecentennale a monte di Monza, pur limitata dalle laminazioni di monte, è attualmente pari a  $200 \text{ m}^3/\text{s}$ .

La situazione è talmente complessa che non è possibile definire quali siano i manufatti che determinino le maggiori limitazioni e che, una volta adeguati, possano aumentare la capacità del Lambro e del Lambretto in modo da poter convogliare la portata di riferimento senza causare esondazioni in città.

Si segnala inoltre a monte della linea ferroviaria la presenza in alveo di una torre che riduce notevolmente la sezione del Lambro, di per sé già insufficiente (cfr. Foto 11).

**Foto 11: Torre a monte linea ferroviaria – Monza**



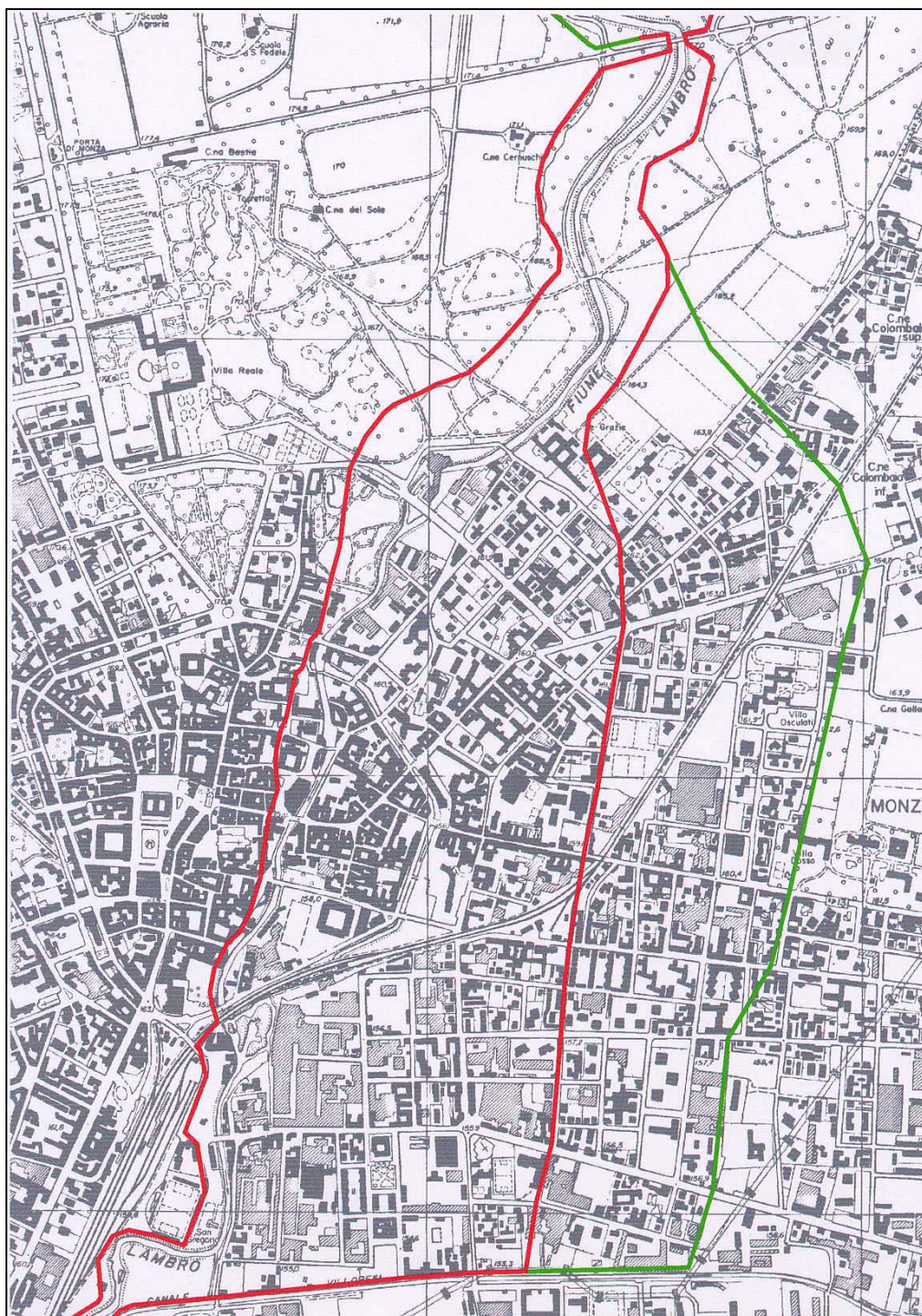
Appare evidente la necessità di realizzare un'opera a monte di Monza che sia in grado di limitare la portata all'interno del centro di Monza entro valori compatibili con la situazione in atto. Come esposto nella relazione dedicata agli interventi proposti (Attività 5.4.1) tale riduzione non può che essere ottenuta con un nuovo canale diversivo che aggirando in sinistra la città sia in grado di difendere la stessa dalle piene aventi portata maggiore del valore di  $80 \div 90 \text{ m}^3/\text{s}$  prima citato. Attesa infatti la forma allungata dell'onda di piena imposta dal lago di Pusiano e dalle laminazioni a monte di Monza e considerato che il volume dell'onda di piena che occorre laminare è pari a circa 6 milioni di metri cubi, risulta assolutamente improponibile qualsiasi ulteriore intervento di laminazione a monte di Monza capace di ridurre il colmo di piena nella misura voluta.

L'individuazione delle aree allagabili per l'evento catastrofico ( $T=500$  anni) è di incerta delimitazione soprattutto in sponda sinistra, in quanto in destra è presente un pronunciato terrazzamento posto generalmente a circa 100 m dall'alveo, il quale riesce a contenere le esondazioni riferibili anche ad elevatissimi tempi di ritorno (500 anni). In sinistra idraulica, invece, i terrazzi sono più distanti dal corso del Lambro e sono meno accentuati (terrazzi secondari); le esondazioni che si generano per un tempo di ritorno di 200 anni sono tali da interessare l'area compresa nel primo terrazzo (via Canova, via Antonietti, via Aguilhon). Le esondazioni che si generano per un tempo di ritorno pari a 500 anni si chiudono invece sul terrazzo esterno (via Aguggiari, Villa Francesca, via Reina, poi verso il Canale Villoresi).

Il limite inferiore di entrambe le aree di esondazione è rappresentato dal ponte del Canale Villoresi, sotto al quale si concentra l'intera portata del Lambro, somma del flusso principale e delle correnti provenienti dal drenaggio delle aree di esondazione.



**Figura 26: Area di allagamento per T=200 (rossa) e T=500 (verde) a Monza**



Appena a valle del Canale Villoresi (cfr. Figura 27) il Lambro presenta un andamento a meandri, il primo dei quali risulta avere le sponde gravemente inadeguate al contenimento del deflusso di piena per la portata bicentenaria (sezione LA93.2). In questo punto, pertanto, la tracimazione dall'alveo principale determina la formazione di correnti in destra e in sinistra che defluendo verso valle interessano le aree circostanti. Anche in questo caso l'esondazione è planimetricamente più estesa in sponda sinistra, mentre è più ridotta in sponda destra a causa delle quote più elevate del piano campagna.

In particolare in sponda sinistra la portata esondata, per tempi di ritorno pari a 200 anni, riesce ad invadere i terreni posti tra il Lambro e la stradina (probabile retaggio di un'antica centuriazione romana) che corre in direzione nord-sud dalla via Rosmini, fino ad intersecare viale E. Fermi (tangenziale di Monza). Invece i terreni posti a est della detta stradina non dovrebbero essere invasi dalle acque per effetto della possibile tracimazione in corrispondenza del punto P indicato nello stralcio planimetrico. In base alle simulazioni, infatti, il livello idrico in tal punto si porta a quote lievemente inferiori a quella del sedime della stradina e per tale motivo la delimitazione dell'area di allagamento per  $T=200$  anni è tracciata in corrispondenza della stradina medesima. E' da segnalare peraltro che il franco è molto ridotto ed è inferiore all'ordine di grandezza delle già citate ineludibili incertezze della simulazione idraulica. Naturalmente per un tempo di ritorno pari a 500 anni, l'allagamento in sinistra Lambro si espande notevolmente e la conformazione del piano campagna, che decresce in direzione sud e sud-est, fa sì che esso sia in grado di estendersi ad est fino alla via M. Buonarroti, interessando estese aree edificate, e a sud fino a viale E. Fermi.

Anche in sponda destra l'esondazione alimentata dalla detta insufficienza di monte provoca allagamenti di aree urbane evidenziati nello stralcio planimetrico.

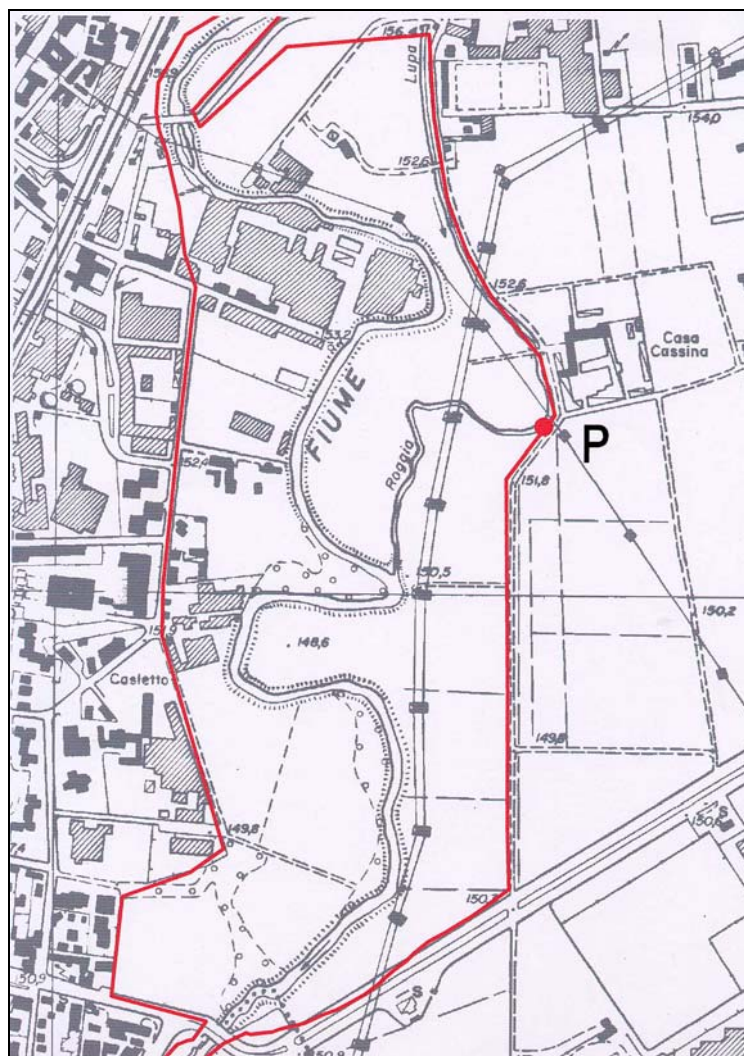
Un altro punto in cui si generano tiranti idrici superiori al livello delle sponde è localizzato subito a monte della traversa (LA91.3) adiacente al ponte di via Monte Santo (LA91.2.2); in tale tratto, infatti, il profilo di rigurgito imposto dall'insieme della strettoia costituita dal ponte dell'Autostrada A4 (LA91), dei ponti della tangenziale di Monza (LA91.2.2 e LA91.2.1) e della detta traversa (LA91.3) determina esondazioni in destra e in sinistra che si vanno a sovrapporre a quelle provenienti da monte.

Appare evidente come il nuovo canale diversivo prima citato per la protezione idraulica del centro di Monza e proposto negli interventi di progetto (Attività 5.4.1) abbia decisiva importanza anche per la difesa delle aree qui descritte.

È anche da sottolineare come l'intero volume idrico di esondazione nel centro storico di Monza e nelle citate aree a valle della città sia di entità assolutamente ininfluente ai fini della regimazione generale del Lambro a valle di Monza, in quanto i tiranti idrici di tali allagamenti sono abbastanza contenuti e determinano quindi volumi di laminazione ininfluenti rispetto al volume della piena di riferimento. Pertanto, se è vero che con la costruzione del citato diversivo a difesa del territorio di Monza verranno impediti le dette esondazioni, è anche vero che da ciò non conseguiranno aggravamenti significativi alle onde di piena defluenti verso valle.



**Figura 27: Area di allagamento per T=200 a Monza, zona a sud del Canale Villoresi**



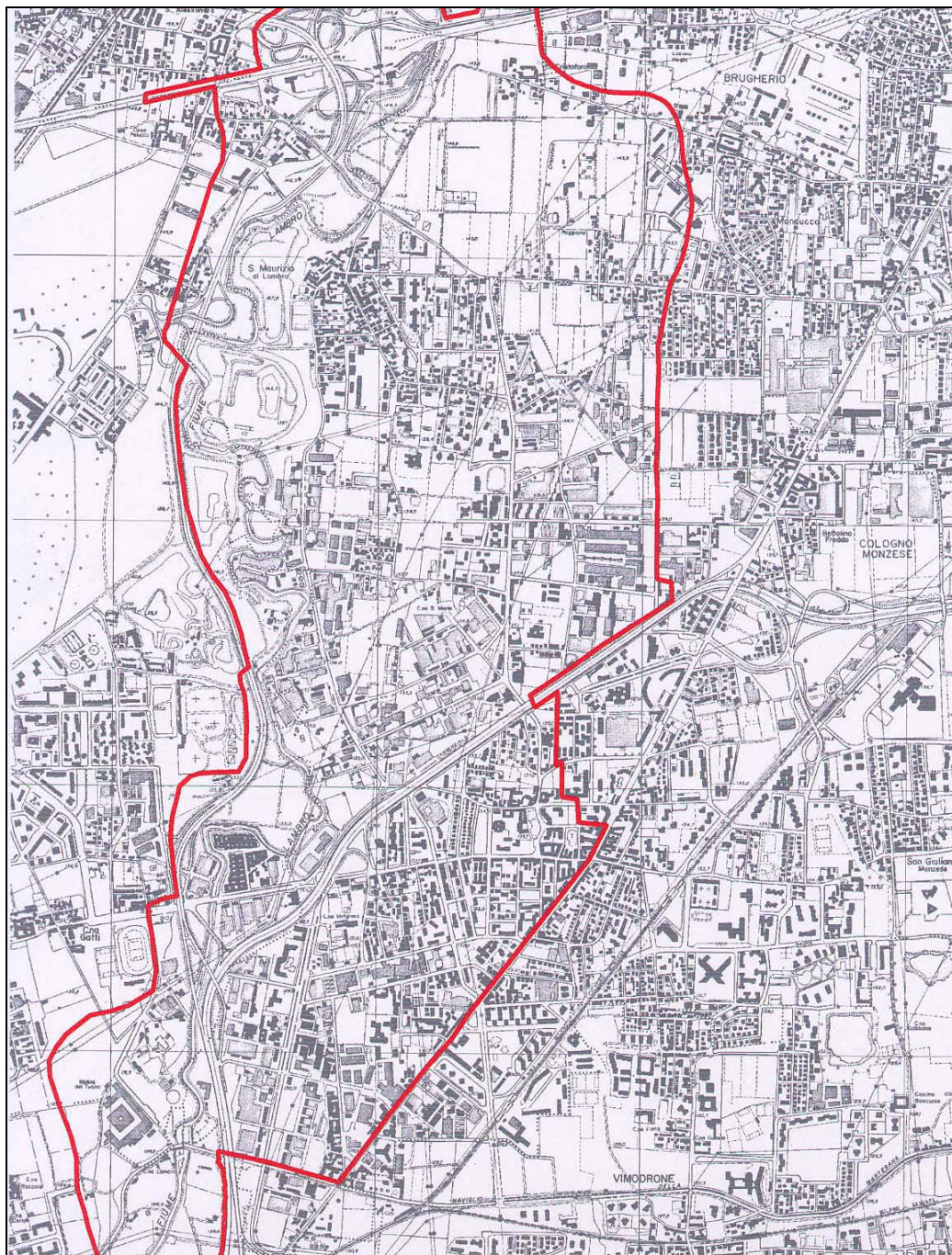
## 5.8 COMUNE DI COLOGNO MONZESE

Un'altra delle zone urbane situate tra Monza e Milano interessate dai maggiori allagamenti è la città di Cologno Monzese (cfr. figura 28). A causa infatti della mancanza di limiti morfologici capaci di contenere le acque in zone ristrette, si possono verificare allagamenti importanti anche se l'insufficienza riguarda solo un tratto di alveo o se è presente anche una sola discontinuità arginale. A conferma di ciò vale quanto si è verificato nell'evento di piena del novembre 2002. Durante questo evento dopo la tracimazione avvenuta nella zona di San Maurizio a Brugherio, in via Guernica a Cologno Monzese, le acque seguendo la pendenza naturale dei terreni urbani hanno allagato diverse zone residenziali, anche apparentemente irraggiungibili, quali quelle poste a sud della tangenziale Est. Infatti a causa dell'interessamento dei sottopassi di viale Lombardia, via Galilei e viale Spagna, tali aree sono state raggiunte dalle acque provenienti sia da nord che da nord-ovest della città.



Il battente idrico riscontrato ha raggiunto un massimo di 50/60 cm nelle zone più a nord diminuendo progressivamente sino ad un minimo di 20/25 cm nelle zone a sud della tangenziale dove la corrente è rientrata nell'alveo principale.

**Figura 28: Area di allagamento per T=200 a Cologno Monzese e Sesto San Giovanni**



## 5.9 COMUNE DI MILANO

Il territorio orientale del comune di Milano coinvolto con le piene del Lambro è interessato da ampie aree di allagamento con riferimento alla portata di piena per un tempo di ritorno pari a 200 anni (cfr. figura 29), che si confermano anche da esondazioni storiche (eventi verificatisi nel 1947, nel 1951 e nel 2000). Anche l'evento di novembre del 2002 ha evidenziato vaste aree di allagamento nel Parco Lambro e nelle zone ad esso limitrofe, oltre all'insufficienza diffusa dei manufatti di attraversamento (via Feltre, via Folli, via Rubattino, viale Forlanini, ecc.).

Con riferimento allo stralcio planimetrico di figura 29 partendo a monte dal ponte di cascina Gobba si verificano esondazioni sia in sponda destra (fino allo stabilimento Rizzoli), sia in sinistra fino alla sede della tangenziale.

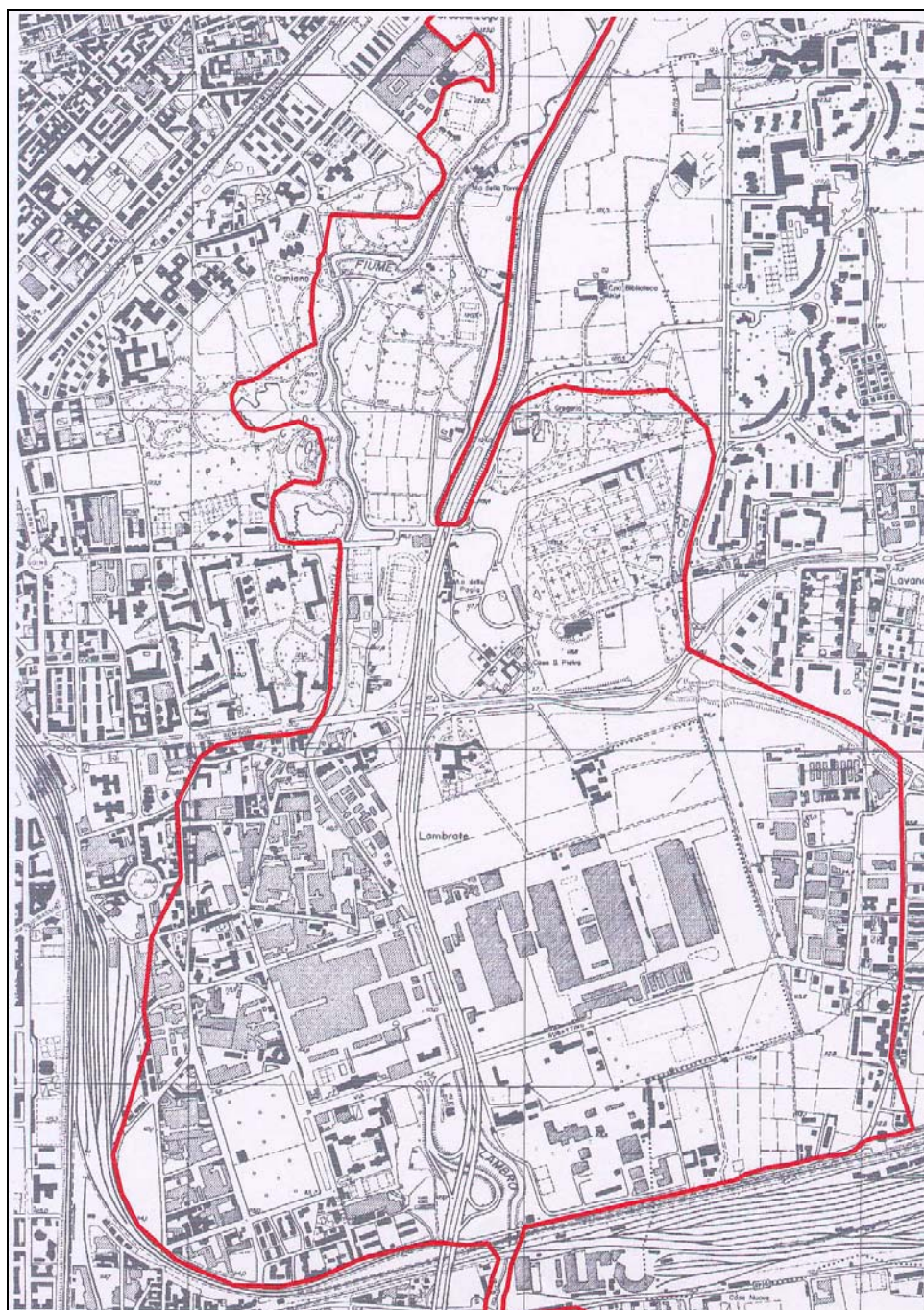
L'area di esondazione prosegue verso sud interessando tutto il parco Lambro, costeggiando il rilevato autostradale fino al cimitero di Lambrate. Da tale punto (via Feltre) l'area di esondazione si allarga verso est, interessando le zone prossime al cimitero di Lambrate e la località S. Gregorio. Tale esondazione risale a nord quasi fino a viale Turchia e prosegue verso sud fino ad essere contenuta dal rilevato ferroviario della linea Milano-Treviglio.

A valle del ponte di via Rombon, le esondazioni in sponda destra tendono ad allargarsi fino a seguire il rilevato ferroviario che si chiude sul ponte di via Cima e sul ponte ferroviario di attraversamento delle FS.

A valle del ponte FS le fasce si allargano sia in sponda destra sia in sinistra, senza più rientrare verso l'alveo inciso del Lambro. In particolare in sponda destra la fascia di esondazione interessa la zona dell'Ortica fino all'incrocio con viale Forlanini, poi prosegue lungo la tangenziale fino a Monluè e a Ponte Lambro. Da qui segue verso sud fino a attestarsi sulla S.S. 415 (Paullese).



**Figura 29: Area di allagamento per T=200 a Milano, tra via Feltre e FS Milano-Treviglio**



In sponda sinistra a valle del ponte FS la fascia di esondazione si allarga fino a comprendere il parco Forlanini e, verso valle, parte dell'aeroporto di Linate..

A sud della strada Paullese le aree interessate da allagamento sono costituite da zone agricole.

Per l'intero tratto di Milano la totale assenza di limiti morfologici in direzione est-ovest (fatta eccezione la linea ferroviaria) consente una delimitazione delle aree allagabili non

priva di incertezze: alle consuete incertezze di tipo idrologico-idraulico si aggiungono infatti quelle morfologiche dal momento che in alcune zone non è possibile individuare quote del piano campagna superiori ai livelli idrici calcolati.

La causa delle esondazioni sopracitate è dovuta ai concomitanti effetti prodotti dalle gravi insufficienze delle sezioni d'alveo e dei molti manufatti di attraversamento (ponti e traverse).

La situazione è molto complessa, soprattutto tenuto conto del contesto urbanizzato entro il quale il Lambro si sviluppa e l'importanza viabilistica di alcuni dei ponti interferenti.

Appare evidente la necessità di realizzare opere in grado di aumentare la capacità idraulica dell'alveo (eliminazione delle traverse, adeguamento dei ponti e risezionamento dell'alveo) e di ridurre la portata nelle zone dove non è possibile intervenire sullo stesso (soprattutto nel tratto più critico tra via Rombon e i ponti FS). Come già affermato in precedenza per il comune di Monza, tali opere di riduzione della portata non possono che essere rappresentate da diversivi, poiché il volume dell'onda di piena è tale da rendere inefficace qualsiasi intervento di laminazione.

Nella relazione sugli interventi proposti (Attività 5.4.1) viene presentata un'alternativa di diversione della corrente del Lambro, in modo da alleggerire convenientemente i tratti critici sopra indicati.

## **APPENDICE**

Come già richiamato in premessa, per conseguire le migliori possibilità di rappresentazione della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale del Lura in occasione delle piene, si è utilizzato il ben noto modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute.

In particolare il modulo idraulico HD, tramite la risoluzione delle equazioni differenziali di De Saint-Venant, consente di determinare i profili di corrente sia in condizioni di moto vario che di moto permanente.

Il modello simula il flusso monodimensionale e quasi-bidimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

Si riportano di seguito alcuni richiami teorici sul moto vario delle correnti a superficie libera e sui metodi di risoluzione delle equazioni che le descrivono.

Il moto di una corrente idrica a superficie libera, nella quale non siano presenti significative componenti trasversali di moto, è descritto matematicamente dalle equazioni di continuità e del moto, note come equazioni di De Saint-Venant monodimensionali.

Nelle ipotesi di fluido omogeneo ed incompressibile, pendenza di fondo modesta, distribuzione della pressione idrostatica nelle sezioni trasversali, assenza di immissioni e sottrazioni di portata, tali equazioni assumono la forma seguente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \beta \cdot \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g \cdot |Q| \cdot Q}{\chi^2 \cdot A \cdot R} = 0 \end{array} \right.$$

dove:

$h$  è la quota idrica misurata rispetto ad un livello orizzontale di riferimento (m)

$A$  è l'area bagnata ( $\text{m}^2$ )

$R$  è il raggio idraulico (m)

$\chi$  è il coefficiente di scabrezza di Chezy ( $\text{m}^{1/2} \text{s}^{-1}$ )

$Q$  è la portata ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ )

$g$  è la accelerazione di gravità ( $\text{m s}^{-2}$ )

$\beta$  è il coefficiente di ragguaglio delle quantità di moto che solitamente si pone uguale all'unità.

Il coefficiente di resistenza di Chezy  $\chi$  può essere valutato secondo l'espressione di Strickler:

$$\chi = k_S \cdot R^{1/6}$$

in cui  $k_S$  è il così detto coefficiente di scabrezza di Strickler.

Le equazioni generali di De Saint Venant vengono trasformate dal modello, in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti  $Q$  e  $h$  alternati tra loro, nei quali la portata  $Q$  e il livello idrico  $h$ , rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale. La soluzione del sistema di D. S. V. permette di rappresentare, in dettaglio, tutte le trasformazioni che l'onda di piena subisce nella traslazione da monte a valle per effetto della laminazione naturale, dell'interferenza con le opere idrauliche, delle esondazioni al di fuori dell'alveo attivo, della confluenza di tributari laterali e del contributo distribuito dei bacini versanti.

Le equazioni del moto vengono risolte numericamente dopo aver definito le condizioni al contorno e quelle iniziali.

Il programma di calcolo ha la possibilità di utilizzare diverse tipologie di condizioni al contorno da definirsi nelle sezioni estreme del tronco in esame, tra le quali si ricordano:

- valore costante del livello idrico o della portata;
- variazione nel tempo del livello idrico o della portata;
- relazioni fra le due variabili  $h$  (livello) e  $Q$  (portata).

E' necessario descrivere le caratteristiche geometriche del corso d'acqua attraverso l'inserimento della geometria di un determinato numero di sezioni trasversali dell'alveo. A tal fine sono state utilizzate ed inserite le sezioni rilevate sulle aste dei corsi d'acqua nell'ambito delle campagne di rilievo topografico.

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni delle resistenze d'attrito: l'espressione di Strickler e quella di Chezy ed è possibile tener conto di ogni variazione della scabrezza all'interno delle sezioni trasversali, nelle golene o lungo l'alveo.

Le caratteristiche specifiche dei materiali d'alveo e della copertura vegetazionale sono state valutate sulla base delle indicazioni fornite in letteratura: in particolare si è fatto riferimento all'indicazione fornite da "U.S. Department of Agriculture- Technical Bulletin" n° 129, - Novembre 1929, n° 652 - Febbraio 1934 e dai testi "Ven Te Chow, Ph. D - Open - Channel Hydraulics", Mc Graw - Hill International Editions - 1973, "M. Hanif Chaudhry - Open - Channel Flow", Prentice Hall 1993.

Attraverso la costruzione di sistemi quasi-bidimensionali ramificati è stato possibile rappresentare compiutamente qualunque tipo di ponte o di arginatura trasversale, valutando sia l'effetto sulla corrente d'alveo che l'eventuale tracimazione della struttura da parte delle acque di piena. Inoltre, con il suddetto schema quasi-bidimensionale, oltre al ramo principale, che costituisce il corso d'acqua primario, sono stati simulati qualunque ordine o tipo di ramificazioni parallele collegate al ramo principale stesso.

Tale possibilità risulta molto utile per tener conto delle aree di espansione laterale (aree golenali “aperte”). Allargando le sezioni oltre le aree spondali fino a coprire l’area di possibile esondazione, vengono introdotti rami paralleli in destra e sinistra, collegati all’alveo principali a mezzo di stramazzi a larga soglia su canali fittizi di collegamento (“link”) su cui possono essere impostate reali condizioni di deflusso. Dal punto di vista idraulico la connessione tra alveo e golena è schematizzata con uno stramazzo dall’equazione:

$$q = 0.385 \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

Le caratteristiche geometriche dello stramazzo vengono assegnate mediante la compilazione di una tabella in cui si specificano, in funzione della reale forma degli argini sormontati, le larghezze  $L$  dello stramazzo in funzione del livello  $h$  raggiunto dall’acqua.

E’ inoltre possibile considerare le aree golenali “chiuse”, ovvero zone di espansione delle portate di piena che però non partecipano al deflusso delle acque; tale aree risultano generalmente delimitate verso il corso d’acqua da rilevati arginali. Esse vengono invase dalle acque solo in occasione delle piene e svolgono un importante ruolo di laminazione accumulando parte del volume della piena sottraendolo al transito verso valle. Questo tipo di approccio è basato su una schematizzazione del territorio a “celle di invaso” connesse direttamente all’alveo inciso mediante elementi governati dalle medesime leggi di scambio precedentemente illustrate.

Può inoltre essere prevista la prevalenza dei fenomeni di laminazione su quelli dinamici, introducendo aree di laminazione addizionali (“additional flooded areas”) nelle quali viene risolta solamente l’equazione di continuità della portata.

### ***Manufatti di attraversamento***

La presenza in alveo di elementi quali pile o spalle di ponti tali da restringere la sezione disponibile per il deflusso delle acque provoca modifiche sull’andamento delle altezze idriche che si propagano, verso monte o verso valle, secondo il carattere “*lento*” o “*veloce*” della corrente.

Le situazioni che si possono presentare più frequentemente in corrispondenza di un attraversamento sono le seguenti:

- la corrente è lenta e rimane lenta;
- il moto avviene con transizione attraverso lo stato critico in corrispondenza della sezione ristretta;
- il livello idrico è superiore alla quota dell’impalcato e il deflusso passa da pelo libero a condizioni di moto in pressione.

Il “*rigurgito*” indotto dai ponti è calcolato secondo le usuali metodologie proposte in letteratura, ad esempio da Rubatta e Marchi:

Calcolo del numero di Froude



$$Fr_0 = \frac{v_0}{\sqrt{g \cdot y_0}}$$

della corrente indisturbata, dove  $v_0$  ed  $y_0$  sono rispettivamente i valori di velocità e di altezza idrica calcolati in corrispondenza della sezione dell'attraversamento considerata priva del manufatto.

Valutazione dello stato energetico della corrente indisturbata, ovvero confronto tra il carico specifico della corrente indisturbata e carico critico. Definendo  $b_0$  la larghezza "naturale" dell'alveo e  $b$  la larghezza del restringimento, la condizione affinché in assenza di perdite, non si verifichi l'attraversamento della profondità critica

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

è che il carico specifico della corrente indisturbata sia maggiore od uguale al carico critico per la portata data

$$E_c = \frac{3}{2} y_c = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

ovvero che sia verificata la disuguaglianza

$$y_0 + \frac{v_0^2}{2g} \geq \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}$$

Se la corrente indisturbata è lenta il primo membro rappresenta il carico a valle del restringimento; in realtà tra la sezione ristretta di area minima e la sezione indisturbata a valle si verificano perdite di carico dell'ordine di qualche unità percentuale del carico specifico. Quindi, affinché la corrente si mantenga sempre lenta, la condizione limite non si verifica nel caso di esatta uguaglianza dei due membri dell'equazione, ma quando il primo diventa inferiore al secondo di qualche unità per cento.

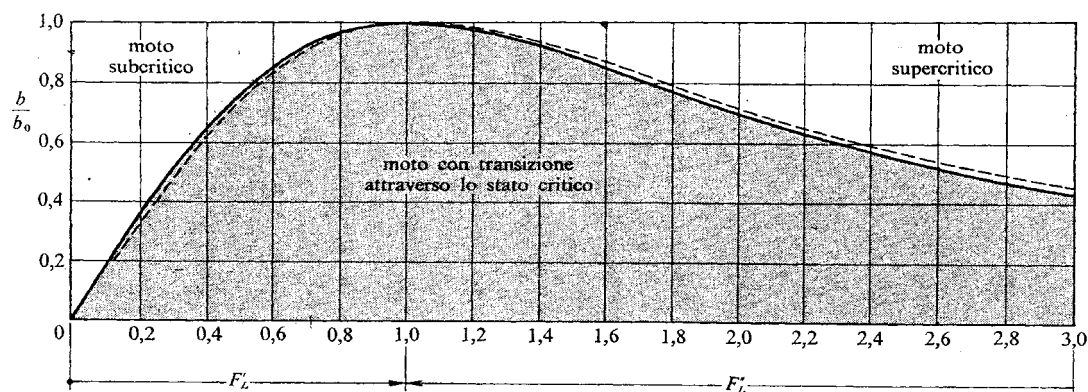
Riscrivendo la relazione in funzione del numero di Froude della corrente indisturbata  $Fr_0$  si ottiene

$$1 + \frac{Fr_0^2}{2} - \frac{3}{2} \frac{Fr_0^{\frac{2}{3}}}{(b/b_0)^{\frac{2}{3}}} \geq 0$$

Imponendo l'uguaglianza e risolvendo l'equazione si nota che ad ogni valore del rapporto di contrazione  $b/b_0$  corrispondono due soluzioni positive definite numeri di Froude "limite" con  $F_L' < 1$  e  $F_L' > 1$ . Noto il rapporto di contrazione  $b/b_0$  ed il numero di Froude della corrente indisturbata  $Fr_0$ , la corrente si mantiene ovunque lenta nel passaggio attraverso il restringimento se risulta  $Fr_0 \leq F_L'$ , mentre si verifica il passaggio attraverso lo stato critico nel caso in cui  $Fr_0 \geq F_L'$ .

Nella Figura 15 è riportato il grafico con l'andamento delle curve limite (soluzioni  $F_L$ ) in funzione del rapporto di contrazione  $b/b_0$  e la suddivisione dei vari campi corrispondenti ai diversi tipi di moto assunti dalla corrente nell'attraversare il restringimento.

**Figura 30: Grafico per l'individuazione del carattere della corrente in corrispondenza di un restringimento della sezione**



Se si verifica il passaggio della corrente attraverso lo stato critico la profondità  $y_1$  della corrente a monte del ponte si calcola con l'equazione seguente

$$y_1 = K_f \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb_0^2 F_L'^2}}$$

dove il valore di  $F_L'$  può essere ottenuto imponendo l'uguaglianza nella precedente disequazione e risolvendo rispetto a  $Fr_0$ ; per il coefficiente  $K_f$  si assumono, sulla base di risultati sperimentali, i valori seguenti variabili con la forma del fronte della pila:

pile con fronti squadrate  $K_f = 1.135$

pile con fronti triangolari a  $90^\circ$   $K_f = 1.085$

pile con fronti semicircolari  $K_f = 1.050$

Nel caso in cui la corrente si mantenga lenta e non si verifichi quindi il passaggio della corrente attraverso lo stato critico la sopraelevazione  $y$  del profilo idrico a monte del restringimento rispetto all'altezza idrica  $y_0$  della corrente indisturbata può essere calcolata con la formula empirica proposta da Yarnell

$$\frac{\Delta y}{y_0} = k_2 (k_2 - 0.6 + 5Fr_0^2) \left\{ 1 - \frac{b}{b_0} + 15 \left( 1 - \frac{b}{b_0} \right)^4 \right\} Fr_0^2$$

dove  $k_2$  è un coefficiente che dipende dalla forma geometrica della sezione delle pile

pila a sezione rettangolare  $k_2 = 1.25$

pila a sezione rettangolare e fronti triangolari a  $90^\circ$  (sia verso monte che verso valle)  $k_2 = 1.05$

coppia di pile a sezione circolare  $k_2 = 1.05$

coppia di pile a sezione circolare unite da setto longitudinale  $k_2 = 0.95$

pila a sezione rettangolare e fronti circolari (sia verso monte che verso valle)  $k_2 = 0.90$

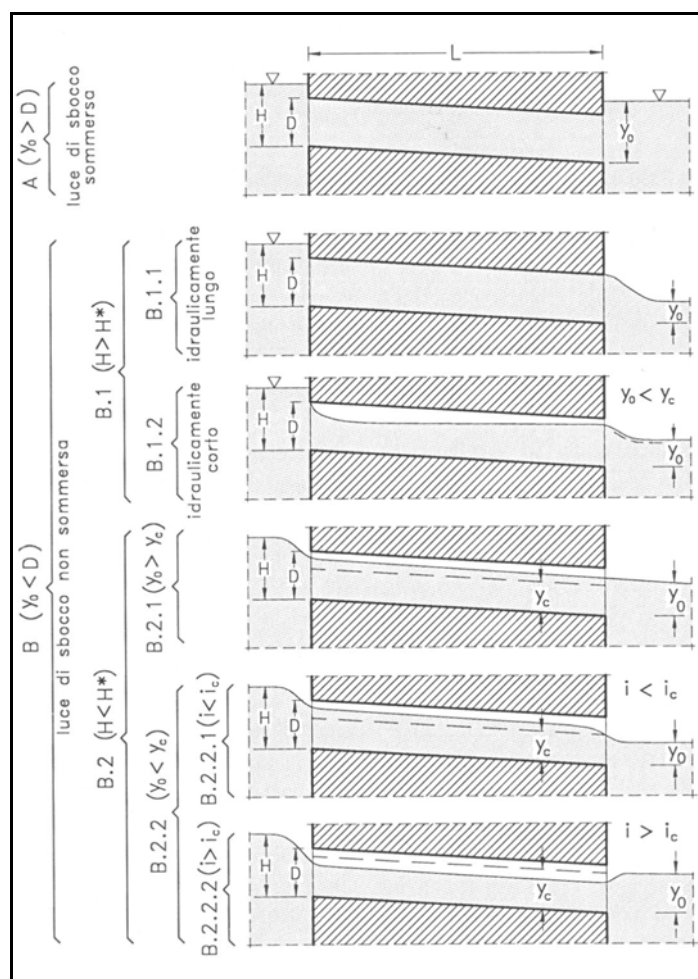
Nel caso in cui i manufatti di attraversamento presentano la quota dell'intradosso dell'impalcato minore dell'altezza idrica, il fenomeno in studio può esser schematizzato come è illustrato nella figura seguente.

Le caratteristiche del moto dipendono principalmente dalla forma dell'imbocco e dal tipo di sezione, dalla scabrezza, dalla pendenza e dalle condizioni idrometriche di monte e di valle.

Definita  $H^*$  un'altezza di riferimento compresa tra 1.2 e 1.5 volte l'altezza del tombino  $D$ , si possono individuare diversi comportamenti idraulici con riferimento allo stato idrometrico dello sbocco (se sommerso o non sommerso), al rapporto tra il carico  $H^*$  ed il carico  $H$  esistente all'imbocco ( $H < H^*$  oppure  $H > H^*$ ) e alle caratteristiche del deflusso all'interno del tombino.

Indicate con  $y_c$  e  $y_0$  le altezze corrispondenti rispettivamente allo stato critico e di sbocco,  $i_c$  e  $i$  le pendenze, rispettivamente critica e del fondo del tombino, i casi possibili sono quelli rappresentati in Figura 19.

**Figura 31: Possibili andamenti dei profili liquidi in un tombino**



I ponti in cui la quota idrica è superiore all'impalcato possono essere schematizzati come nel caso A, come corrente in pressione. Il dislivello  $\Delta h$  tra il carico di monte e di valle, è dato applicando l'equazione del moto per i liquidi reali:

$$\Delta h = \frac{1}{C^2} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

avendo posto

$$\frac{1}{C^2} = \frac{2 \cdot g \cdot L}{K_s^2 \cdot R^{4/3}} + k_i + k_s$$

dove  $v$  rappresenta la velocità della corrente,  $L$  la lunghezza dell'attraversamento,  $K_s$  il coefficiente di scabrezza di Strickler,  $R$  il raggio idraulico,  $k_i$  e  $k_s$  i coefficienti di imbocco e di sbocco, posti rispettivamente pari a 0,5 (corrispondente al caso di imbocco a spigolo vivo) e 0,18.

Nel caso in cui la quota idrica supera anche la quota dell'estradosso del ponte si deve tenere conto anche della portata che transita al di sopra del manufatto, schematizzando il fenomeno con uno stramazzo a larga soglia:

$$q = 0.385 \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} .$$

## **PARTE II^: ASSETTO DI PROGETTO**

### **INDICE**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
1.1	GENERALITÀ E CONTENUTI.....	1
1.2	CRITERI GUIDA GENERALI PER LA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL CONTESTO COMPLESSIVO LAMBRO – OLONA.....	4
1.3	PARTICOLARITÀ DEL FIUME LAMBRO .....	7
1.4	LINEE GUIDA DI IMPOSTAZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO.....	8
1.5	CONSIDERAZIONI SULL'AFFIDABILITÀ COMPLESSIVA DELLE SIMULAZIONI CONNESSE AGLI INTERVENTI .....	11
1.6	CONCLUSIONI.....	14
<b>2</b>	<b>INTERVENTI PREVISTI IN PASSATO .....</b>	<b>16</b>
2.1	INTRODUZIONE.....	16
2.2	COMITATO COORDINATORE PER LE ACQUE DELLA PROVINCIA DI MILANO .....	17
2.3	PROGETTO LAMBRO .....	18
2.4	PROGETTO ESECUTIVO PER I "LAVORI DI SISTEMAZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE DEL LAMBRO SETTENTRIONALE NEL TRONCO COMPRESO TRA IL PONTE DELL'AUTOSTRADA MI-BG ED IL PONTE DI INNESTO ALLA TANGENZIALE EST DI C.NA GOBBA NEI COMUNI DI BRUGHERIO E MILANO".....	19
2.5	PROGETTO PRELIMINARE DI SISTEMAZIONE DEL FIUME LAMBRO A MONTE DI VILLASANTA .....	19
2.6	PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO .....	21
2.7	PIANO STRAORDINARIO PER LE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (PS 267) .....	23
<b>3</b>	<b>ANALISI DEGLI INTERVENTI .....</b>	<b>25</b>
3.1	PREMESSA.....	25
3.2	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	31
3.2.1	<i>Regolazione dal Lago di Pusiano.....</i>	<i>32</i>
3.2.2	<i>Casse di espansione.....</i>	<i>34</i>
3.2.3	<i>By-pass di Monza .....</i>	<i>38</i>
3.2.4	<i>Opere di protezione locale a Brugherio e a Cologno Monzese.....</i>	<i>41</i>
3.2.5	<i>By-pass di Milano.....</i>	<i>42</i>
3.2.6	<i>Riprofilatura dell'alveo a Milano da Ortica a Bolgiano.....</i>	<i>44</i>
3.2.7	<i>Riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano.....</i>	<i>45</i>
3.3	CONCLUSIONI.....	47
3.4	EFFICACIA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI CON RIFERIMENTO ALLA PIENA DEL NOVEMBRE 2002 .....	53

### **INDICE TABELLE**

TABELLA 1:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	34
TABELLA 2:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	36
TABELLA 3:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	37
TABELLA 4:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	37
TABELLA 5:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	41
TABELLA 6:	CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	42

---

TABELLA 7: CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	44
TABELLA 8: CONFRONTO FRA LE PORTATE E I VOLUMI TRA LO STATO ATTUALE E L'ASSETTO DI PROGETTO (TRA PARENTESI È RIPORTATO IL VALORE FORNITO DAL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO) .....	45
TABELLA 9: PORTATE LIMITI ALLO SCARICO DELLE RETI DI DRENAGGIO URBANO .....	46

## INDICE FIGURE

FIGURA 1: IDROGRAMMA DEL LA BEVERA DI MOLTENO DURANTE L'EVENTO DEL NOVEMBRE '02 .....	54
FIGURA 2: IDROGRAMMA DEL LA BEVERA DI RENATE DURANTE L'EVENTO DEL NOVEMBRE '02 .....	54

## **1 INTRODUZIONE**

### **1.1 GENERALITÀ E CONTENUTI**

Nella presente seconda parte della relazione si riassumono i criteri guida ed i risultati in forma sintetica derivanti dalla ricerca del miglior assetto di progetto per l'asta del fiume Lambro.

Il capitolo introduttivo individua le criticità e le conseguenti necessità di intervento, secondo una discussione dei criteri guida e le valutazioni sulla affidabilità delle simulazioni modellistiche.

Successivamente nel capitolo 2 vengono esposte le linee di intervento proposte in passato per la sistemazione del Lambro e si descrivono le risultanze degli studi condotti in passato.

Infine nel capitolo 3 vengono esposti i risultati dell'analisi relativa agli interventi esaminati per definire l'assetto di progetto del corso d'acqua.

Come riportato nella premessa della prima parte della presente relazione, durante la fase di modellazione del corso d'acqua si sono potute sviluppare una serie di attività volte ad approfondire le tematiche via via emergenti e quindi si sono potuti confrontare i risultati dei modelli di calcolo con l'esperienza diretta osservata sul corso d'acqua e l'esperienza di chi sul corso d'acqua vive o lavora e pertanto ne rileva direttamente l'evoluzione.



Di particolare pregio sono risultate le informazioni raccolte (dati pluvio-idrometrici, perimetrazioni aree allagamento, funzionamento dei manufatti durante la piena, ecc.) e le analisi effettuate con riferimento all'evento di piena del novembre 2002, per il quale buona parte del bacino (zona settentrionale) è stata sottoposta ad un evento di piena di assoluto rilievo associabile a circa 200 anni di tempo di ritorno.

Dall'analisi del materiale a disposizione e dai risultati del modello idrologico-idraulico dell'asta fluviale nella condizione attuale esposti nella prima parte della presente relazione, è emerso che il fiume Lambro può essere suddiviso in cinque tratti, a seconda del differente comportamento idraulico <sup>3</sup>.

- *dall'uscita del lago di Pusiano fino a Villasanta*, denominato *tratto 1*, l'alveo si presenta abbastanza incassato e scorre in un ambito prevalentemente naturale. Tale tratto è caratterizzato da una generale incompatibilità dell'alveo per portate duecentennali; le aree di allagamento conseguenti a tale insufficienza generalizzata sono più estese in alcune zone (da Merone, località Baggero, fino a Briosco, alla confluenza con la Bevera di Renate e a Lesmo e Villasanta) e meno estese in altre (a Verano Brianza, Carate Brianza, Albiate, Triuggio, Sovico e Biassono). A tale insufficienza d'alveo generalizzata, fa eccezione il tratto compreso tra Albiate e Triuggio, nel quale la portata duecentennale risulta essere compatibile con l'attuale assetto fluviale. Si sottolinea inoltre che l'intero tratto può essere ritenuto compatibile con portate avente tempo di ritorno pari a circa 50 anni, ad eccezione di alcune zone puntuali;
- *tra Villasanta e il ponte dell'autostrada A4*, denominato *tratto 2*, l'alveo assume un aspetto canalizzato e attraversa territori pianeggianti fortemente urbanizzati. In tale tratto il fiume presenta un'insufficienza diffusa per tempi di ritorno pari a 200 anni. La portata compatibile con l'intero tratto risulta essere dell'ordine di  $10 \div 20$  anni di tempo di ritorno, come peraltro dimostrato storicamente dalla cadenza delle ultime esondazioni che si sono verificate a Monza (1949, 1951, 1976, 2002). In particolare, si ha che il tratto che attraversa il centro urbano di Monza risulta essere compatibile con portate di circa  $80 \div 90 \text{ m}^3/\text{s}$ , a fronte di portate idrauliche con tempo di ritorno di 200 anni pari a circa  $200 \div 210 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale insufficienza è la causa dei frequenti e vasti allagamenti che interessano la città di Monza. Si segnala inoltre che i livelli di piena correlati alla portata compatibile sopracitata non rispettano comunque i franchi di sicurezza sui ponti. In altri termini con la portata di  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  numerosi manufatti in Monza presentano funzionamento in pressione. Diversi manufatti di attraversamento di notevole importanza risultano inoltre essere incompatibili con le portate di piena: tra tutti si segnala il ponte dell'autostrada A4, il quale per portate duecentennali risulta essere scavalcato dalla corrente idrica;
- *tra il ponte dell'autostrada A4 e la passerella pedonale nei pressi della stazione della metropolitana di Cascina Gobba*, denominato *tratto 3*, l'asta fluviale, con aspetto ancora canalizzato ed in attraversamento a territori pianeggianti fortemente urbanizzati, risulta generalmente compatibile con portate dell'ordine di  $180 \div 200 \text{ m}^3/\text{s}$ , ad eccezione di alcuni tratti concentrati che generano situazioni di insufficienze localizzate da cui tuttavia si originano vaste aree di allagamento: ad

-----  
<sup>3</sup> Per maggiori dettagli vedere cap. 2 della Parte I della presente relazione

esempio, nella zona di S. Maurizio al Lambro a confine tra il comune di Brugherio e di Cologno Monzese, si ha una situazione per cui le ridotte dimensioni della luce di passaggio al di sotto di un ponte e un livello spondale in sinistra idraulica insufficiente rispetto ai livelli di piena, generano una cospicua esondazione in sinistra, in grado di interessare quasi l'intero territorio del comune di Cologno Monzese;

- *tra Cascina Gobba e il ponte di viale Forlanini a Milano*, denominato *tratto 4*, l'alveo presenta caratteristiche analoghe al tratto 2, per cui si riscontra una diffusa insufficienza di deflusso per tempi di ritorno pari a 200 anni. In particolare, il tratto milanese compreso tra il ponte di via Feltre e i ponti della linea ferroviaria Milano-Treviglio risulta essere compatibile con portate di circa  $120 \div 150 \text{ m}^3/\text{s}$ , a fronte di portate con tempo di ritorno di 200 anni pari a circa  $300 \div 320 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale insufficienza genera vaste aree di allagamento nella zona di Parco Lambro e di Lambrate. Si segnala inoltre che i livelli di piena correlati alla precedente portata compatibile non rispettano comunque i franchi di sicurezza in corrispondenza dei manufatti;
- *tra il ponte di viale Forlanini a Milano e la confluenza con il Deviatore Redefossi*, denominato *tratto 5*, l'alveo scorre all'interno di un fondovalle pianeggiante ma meno urbanizzato rispetto ai precedenti tratti 2, 3 e 4. Dal punto di vista della compatibilità idraulica si hanno due distinti comportamenti: nel tratto che si estende fino al ponte della S.S. 415 si ha una portata compatibile pari a circa 10 anni di tempo di ritorno, mentre nella zona a valle del suddetto manufatto, la portata compatibile, con interessamento di aree golenali esterne all'alveo inciso prive di insediamenti urbanizzati, risulta essere prossima alla portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Da quanto esposto emerge come il fiume Lambro risulti caratterizzato da una grande complessità legata alla plurisecolare azione modificativa dell'uomo tesa da un lato allo sfruttamento della risorsa idrica e dall'altro alla difesa dalle piene.

Le modalità di deflusso sopra descritte comportano elevati rischi di inondazione che riguardano sia centri abitati, sia numerose infrastrutture che attraversano l'asta fluviale.

In particolare, già per piene con tempo di ritorno superiore ai 20 anni lungo l'asta sono presenti le seguenti situazioni di elevata criticità, alle quali occorre fare riferimento per impostare il riassetto dell'intera asta fluviale:

- elevato rischio di inondazione presso importanti centri urbani, quali Monza, Cologno Monzese e Milano;
- elevati rischi di inondazione in zone di minor impatto, ma che comunque mettono a rischio l'incolumità di persone e beni (ad esempio la frazione di Agliate a Carate Brianza e la frazione S. Giorgio a Villasanta);
- elevato rischio di interferenza fra il deflusso di piena e le infrastrutture viarie autostradali, stradali e ferroviarie presenti lungo l'asta, con potenziali danni strutturali e funzionali gravi.

E' stato pertanto necessario, visto l'estensione delle situazioni di criticità e l'entità delle stesse, procedere ad un'analisi idraulica a scala di bacino che tenesse in conto le caratteristiche, le criticità e le potenzialità di ogni tratto dell'asta, al fine di raggiungere un assetto complessivo in grado di porre in sicurezza le zone oggi soggette a rischio, senza tuttavia indurre impatti insostenibili sul territorio.

Al fine di meglio comprendere le logiche alla base del progetto, si riassumono nei successivi paragrafi gli elementi di originalità del contesto in studio e del fiume Lambro in particolare.

## **1.2 CRITERI GUIDA GENERALI PER LA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL CONTESTO COMPLESSIVO LAMBRO – OLONA**

Come già sottolineato nel paragrafo 1.1 della prima parte della presente relazione, l'ambito idrografico Lambro-Olona presenta notevoli specificità che ne fanno un caso unico nel bacino del Po.

In estrema sintesi le maggiori peculiarità possono essere così riassunte:

- i corsi d'acqua oggetto di studio presentano tutti indistintamente una conformazione consolidata con capacità di deflusso progressivamente inferiore da monte verso valle. Come evidenziato dalle modellazioni già eseguite sul reticolo (Seveso, Lambro, Lura, Groane, Bozzente, Olona) e come storicamente noto, tutti i corsi d'acqua dell'ambito, convergendo sulla zona urbana di Milano e dell'hinterland, trovano alvei che per diversi chilometri (10÷15) hanno capacità di smaltimento inadeguata alle esigenze con tempo di ritorno modesto. Tali limitazioni al deflusso derivano da una consolidata conformazione d'alveo che si è venuta sviluppando nei secoli sino ad oggi e che è l'insieme di vincoli posti dalla dimensione dell'alveo, dalla successione ininterrotta di ponti e dalla discontinuità del sistema difensivo nell'attraversamento delle zone urbanizzate. Su normali corsi d'acqua infatti è possibile trovare sezioni puntuali (es. ponti) che inducono limitazioni anche pesanti al deflusso. Tali sezioni tuttavia sono puntuali e a valle delle stesse gli alvei riprendono caratteristiche di naturalità e di capacità di convogliamento simili o superiori a quelle di monte;
- l'urbanizzazione del territorio di fatto ha confinato tali tratti terminali dei corsi d'acqua in ambiti o in sezioni chiuse il cui ampliamento non risulta proponibile e già era escluso nei lavori del Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano del 1937;
- le sezioni di deflusso sono caratterizzate da numerosi manufatti di attraversamento e da un sistema difensivo spondale discontinuo, sviluppatosi senza un criterio guida omogeneo, come conseguenza dei limiti imposti dalle urbanizzazioni;
- i soli contributi del sistema di allontanamento delle acque meteoriche dai centri urbani sono in grado di saturare il sistema "naturale".

Per quanto sopra brevemente riassunto, gli studi che si sono susseguiti nel tempo per la risoluzione dell'ambito milanese hanno sempre individuato soluzioni volte a ridurre pesantemente i deflussi alle porte della città (intesa ora come zona urbana milanese e non più solo come città di Milano). Ad es. il citato Comitato Coordinatore delle Acque della Provincia di Milano nel 1937 aveva individuato i seguenti interventi:

- necessità di scaricare le piene del bacino dell'alto Olona (sezione di p.te Gurone) nel lago di Varese e di qui nel lago Maggiore attraverso una galleria di lunghezza 2.400 m da p.te Gurone alla valle del torrente Riposino per una portata di 60 m<sup>3</sup>/s. Tale intervento, riproponendo la soluzione naturale esistente sul bacino del fiume Lambro con il lago di Pusiano o la soluzione del fiume Adige con lo scolmatore al lago di Garda, mirava a eliminare il contributo di tutto il bacino montano;
- necessità di deviazione delle piene dei torrenti delle Groane e del Seveso nel Lambro. Tale soluzione, allora fattibile per l'assenza di sviluppo urbanistico nella zona est milanese, oggi non è più praticabile;
- necessità di deviazione delle piene del Lambro sovralluviale e della Bevera di Molteno nel lago di Annone e di qui nel lago di Como (ramo di Lecco). L'intervento oggi risulta scomponibile nei due proposti di gestione del lago di Pusiano e laminazione con casse di espansione del torrente Bevera.

E' evidente come già nel 1937 fosse ben chiaro il problema dell'insufficienza dei tratti vallivi dei citati corsi d'acqua e come tale problema dovesse essere risolto mediante l'azzeramento dei deflussi da monte mediante laminazioni (lago di Pusiano, lago Maggiore, ecc.) ovvero mediante scolmatori. E' tuttavia da osservare come nel 1937 i due corsi d'acqua principali (Lambro ed Olona) non fossero ancora inglobati nella cintura urbana milanese e pertanto non soffrissero dei vincoli oggi esistenti, che tendono sempre più ad omogeneizzarli con i corsi d'acqua che storicamente convergevano nel centro di Milano (Seveso, Groane). Dal '37 ad oggi inoltre altri corsi d'acqua (Lura e Bozzente) sono stati inglobati nella cintura urbana milanese ed omogeneizzati a livello di problematica con i citati corsi d'acqua. Analoga situazione potrebbe riproporsi ad est nei prossimi decenni con Molgora e Trobbia nel caso vi fosse uno sviluppo urbanistico in tali zone simile a quello attuale.

Nell'ambito dello sviluppo della progettazione dei corsi d'acqua in studio si ha la consapevolezza che tutto l'assetto del corso d'acqua è comunque vincolato (sin dalle zone più lontane del bacino) alla conformazione ad imbuto del tratto terminale (nel caso specifico del Lambro tali situazioni si verificano in corrispondenza dell'attraversamento di Monza e Milano). La progettazione è influenzata sin dal principio dalla necessità vitale di ridurre le portate. Pertanto spesso la soluzione di formazione di arginature è superata dalla necessità di laminazioni sovradimensionate per il servizio locale, ma mirate all'obiettivo finale.

Il grado di vincolo esistente sul sistema, la notevole insufficienza delle sezioni rispetto agli apporti, la pressione antropica sul territorio, portano inoltre a prevedere che le soluzioni strategiche siano dimensionate con margini di sicurezza ampi.

Per quanto detto pertanto l'assetto fluviale definitivo risulta spesso influenzato da esigenze poste assai a valle rispetto al punto di intervento. Tale situazione tuttavia risulta avere anche riflessi positivi in quanto la riduzione delle portate, a volte, implica l'adeguamento delle strutture interferenti incompatibili.

Ultima peculiarità del sistema nord-milano è il peso, in termini di apporto idrico, dei sistemi di smaltimento delle acque dalle zone urbane. Dall'analisi della conformazione dei corsi d'acqua modellati emerge come spesso l'apporto di singole reti fognarie sia di gran lunga superiore all'apporto dei maggiori affluenti naturali. Nel caso del fiume Lambro, ad esempio, non si rilevano affluenti naturali che inducano apporti paragonabili a quelli derivanti dagli scaricatori consortili Alto Lambro a Monza ( $70 \text{ m}^3/\text{s}$  scaricabili dai tre scolmatori posti in corrispondenza dell'impianto di depurazione) o dal Comune di Sesto San Giovanni ( $70 \text{ m}^3/\text{s}$ ). A valle del lago di Pusiano infatti il massimo affluente naturale del fiume Lambro è il torrente Bevera di Molteno, con portata duecentennale non superiore ai  $60 \text{ m}^3/\text{s}$ . L'incidenza di tali deflussi è testimoniata dal fatto che la portata duecentennale a monte di Monza (bacino naturale) quasi si raddoppia a Milano (da  $190 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $320 \text{ m}^3/\text{s}$ ), per effetto dei soli scarichi urbani. Analogamente nel tratto vallivo del torrente Seveso non si rilevano affluenti in grado di apportare deflussi dell'ordine di  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  come viceversa apportato da alcune reti urbane. Sul torrente Lura gli afflussi di Fossato, Livescia e Murella (massimo  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ ) sono ben inferiori al solo apporto della rete urbana di Saronno pari a  $25 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Per quanto riassunto nelle brevi note sopraccitate, l'assetto dei corsi d'acqua del nord-milano dipende fortemente da fattori (densità delle infrastrutture interferenti e loro generalizzata inadeguatezza, discontinuità del sistema arginale e impossibilità di omogeneizzazione dello stesso, afflussi da reticolo artificiale) che in normali corsi d'acqua non assumono un peso tale da giustificare l'indagine di dettaglio, ovvero la tenuta in conto nella definizione dell'assetto di progetto.

Sempre in relazione al grado di vincolo presente ed alla notevole pressione antropica del corso d'acqua, risulta fondamentale, al fine di garantire in futuro l'integrazione e/o la correzione delle previsioni di piano, mantenere la massima estensione di fascia B (seppur in relazione alla notevole riduzione delle portate). La riduzione nelle zone non urbanizzate di tale vincolo potrebbe in futuro risultare estremamente penalizzante nel controllo delle evoluzioni del bacino.

### 1.3 PARTICOLARITÀ DEL FIUME LAMBRO

Rispetto alle particolarità comuni ai corsi d'acqua in studio, il fiume Lambro assume caratteristiche proprie di rilievo:

- è l'unico corso d'acqua dell'ambito Lambro-Olona che risulta essere emissario di un lago (lago di Pusiano). La presenza del lago di Pusiano, con la sua notevole estensione e capacità d'invaso, determina un sostanziale abbattimento delle onde di piena provenienti dal bacino prelacuale;
- l'effetto di laminazione del lago genera deflussi nell'alveo a valle caratterizzati da picchi poco accentuati (rispetto a quelli entranti nel lago) ma durate molto prolungate, caratteristiche tipiche delle onde in uscita dagli invasi. I volumi che transitano nel Lambro sono quindi molto elevati (il volume dell'onda in uscita dal lago di Pusiano durante l'evento di piena del novembre 2002 è stato pari, nei giorni compresi tra il 12 e il 30 novembre, a circa 34 milioni di metri cubi). Tale aspetto preclude la reale efficacia di interventi di laminazione diretta delle portate del Lambro, in quanto, come esposto in seguito, non è possibile reperire lungo il corso del fiume superfici e volumi di entità tale da poter laminare onde con volumetrie così elevate e con impatto sul territorio sostenibile;
- il corso del Lambro compreso tra il lago di Pusiano e Villasanta risulta essere generalmente incassato nel fondo valle e riceve prevalentemente contributi di piena provenienti da bacini naturali. Tutti gli affluenti del Lambro, tra cui i principali sono le Bevere (Molteno, Veduggio, Renate), sono localizzati in sinistra idraulica a monte della provincia di Milano;
- a valle del tratto suddetto il Lambro attraversa una vasta zona pianeggiante, densamente urbanizzata, all'interno della quale si trovano importanti ed estesi centri urbani (Monza, Cologno Monzese, Sesto San Giovanni e Milano). In particolare il Lambro attraversa il centro storico di Monza, successivamente scorre tra i comuni di Sesto San Giovanni e Cologno Monzese, fino ad attraversare la periferia est del comune di Milano. Nell'attraversamento dei comuni di Monza e di Milano il Lambro ha una capacità idraulica molto limitata, tanto che negli ultimi 50 anni si sono succedute esondazioni rilevanti (anni 1949, 1951, 1976, 2002) con cadenza pressoché venticinquennale. Tale cadenza e storicità risulta inaccettabile se rapportata ai danni indotti al tessuto antropico interessato. Fortunatamente l'evoluzione dei fenomeni di propagazione delle piene, con genesi nelle zone prelacuali e naturali del bacino, consente un discreto margine di preavviso alle popolazioni e pertanto la drastica riduzione del rischio di perdita di vite umane. L'evento del novembre 2002 risulta a tale argomento assai emblematico. La progressiva urbanizzazione del bacino, tuttavia, ha indotto la possibilità di formazione di piene dovute a precipitazioni nel solo settore urbano, con caratteristiche di concentrazione assai diverse e con tempi di formazione, e quindi di preavviso, stimati in poche ore.

L'insieme delle citate particolarità fa sì che l'individuazione di soluzioni a scala di bacino possa essere frutto unicamente di uno studio di dettaglio sui centri di afflusso delle portate

e sui centri di pericolo. Un'imprecisa determinazione di questi due fattori comporta automaticamente un sovradimensionamento e una localizzazione non efficace delle opere. Ad esempio se si applicasse al bacino tra Villasanta e la periferia sud di Monza un'analisi idrologica non differenziando le zone urbane dalle zone extra-urbane e non tenendo conto delle potenzialità delle reti di drenaggio urbano e dei punti di immissione, si sarebbe portati a prevedere sovradimensionamenti delle opere in quanto si apporterebbero all'asta contributi distribuiti a monte che di fatto non risultano possibili (le zone extra-urbane del bacino posto a ovest del Lambro compreso tra i comuni di Giussano, Seregno, Nova Milanese, Muggiò, Desio e Lissone – pari a circa 35 km<sup>2</sup> – non recapitano acque verso il corso d'acqua per l'assenza di un reticolo di drenaggio superficiale).

#### 1.4 LINEE GUIDA DI IMPOSTAZIONE DELL'ASSETTO DI PROGETTO

Al termine della fase di analisi idrologica e idraulica relativa alle condizioni attuali si sono potute pertanto individuare le migliori soluzioni idonee alla definizione dell'assetto di progetto da conseguire per la sistemazione idraulica del corso d'acqua. Gli interventi prescelti tengono in conto le caratteristiche naturali del corso d'acqua e le pesanti modificazioni subite negli anni a seguito della presenza dell'uomo (dal comune di Monza fino a Milano compresi).

In particolare la problematica di maggior rilievo riscontrata risulta legata a quest'ultimo aspetto: l'alveo del Lambro, a causa della pressione antropica, ha assunto una conformazione tale per cui si hanno diversi tratti con capacità di deflusso insufficiente nei riguardi delle portate di piena, anche di non elevata entità. I principali tratti in cui si verifica la maggior insufficienza sono quelli in attraversamento ai due maggiori centri urbani interni al bacino, Monza e Milano:

- la portata al colmo con tempo di ritorno 200 anni a Monza è pari a circa  $200 \div 210 \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre la portata compatibile con il tratto urbano è pari a circa  $80 \div 90 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- la portata al colmo con tempo di ritorno 200 anni a Milano è pari a circa  $300 \div 320 \text{ m}^3/\text{s}$ , mentre la portata compatibile con il tratto urbano è pari a circa  $120 \div 150 \text{ m}^3/\text{s}$ ;

I nodi sopraccitati presentano la caratteristica di essere preceduti da zone naturali (tutto il tratto a monte di Monza fino a Villasanta ed in particolare il Parco per Monza, il Parco Lambro per Milano) e di apportare notevoli deflussi con lo scarico delle reti di drenaggio a valle.

Tra i tratti critici andrebbe inserito anche quello tra Cologno Monzese e Sesto San Giovanni, in quanto tale tratto pur essendo generalmente compatibile con portate dell'ordine di  $180 \div 200 \text{ m}^3/\text{s}$ , presenta alcuni tratti soggetti ad insufficienze localizzate che danno origine a vaste aree di allagamento. Come detto, in particolare, nella zona di S. Maurizio al Lambro a confine tra il comune di Brugherio e di Cologno Monzese, si ha una situazione per cui le ridotte dimensioni della luce di passaggio al di sotto del ponte di San Maurizio al Lambro (sez. LA90.1) abbinate ad un livello spondale in sinistra idraulica

insufficiente rispetto ai livelli di piena, generano vasti allagamenti nel territorio di Cologno Monzese.

Altre situazioni di crisi puntuale sono diffuse lungo l'asta ove gli abitati si sono posti più a ridosso del corso d'acqua, o dove il recupero edilizio di mulini o vecchie frazioni non è stato accompagnato da adeguati vincoli sui piani più bassi.

Tenuto conto che l'intero sistema di difese idrauliche dell'asta fluviale deve essere dimensionato, in coerenza con gli obiettivi generali del PAI e con l'assetto complessivo dell'asta fluviale, con riferimento a una piena di progetto con tempo di ritorno di 200 anni, si ha che le metodologie di intervento, in grado di tenere in conto tali maggiori criticità sono le seguenti:

- aumento della capacità di laminazione all'interno del bacino (asta fluviale e affluenti), in modo da ridurre opportunamente in relazione agli afflussi ed alla sostenibilità della soluzione, l'entità delle portate di piena;
- mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano zone golenali;
- rimozione dei manufatti di attraversamento che ostacolano il deflusso di piena e inducono allagamenti in zone non compatibili;
- riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano;
- aumento della capacità idraulica dell'alveo attraverso opere locali (ricalibratura, diversivi, ecc.).

A livello generale si evidenzia come l'assetto di progetto sia scaturito dalla ricerca dell'equilibrio ottimale tra la formazione di nuove laminazioni, ambientalmente e territorialmente compatibili, e l'incremento della capacità di deflusso di ogni singolo tratto.

Per quanto sopra, nel tratto 1 (dal lago di Pusiano fino a Villasanta) sono state previste laminazioni in aree già soggette ad esondazione (tratti terminali Bereguardo ed area ad Inverigo), incrementando l'efficacia di tali invasi mediante modeste opere strutturali.

La realizzazione di maggiori laminazioni, con formazione d'invasi che producessero un abbattimento complessivo della portata a valori compatibili con i tratti di valle, avrebbero comportato la realizzazione, in tali aree, di vere e proprie opere di sbarramento sul piano campagna in modo da formare invasi di alcuni milioni di metri cubi. Ad esempio il volume dell'onda di piena in ingresso a Monza, che risulta essere in eccesso rispetto alla portata compatibile in attraversamento del centro abitato, è pari a circa 6 milioni di metri cubi; considerando che l'estensione dell'area di espansione naturale di Inverigo è pari a circa 80 ettari, per ottenere tale volume occorrerebbe avere dei tiranti idrici medi pari a 8 m (nell'ipotesi di laminazione ottimale con taglio orizzontale dell'onda) oltre agli attuali livelli di allagamento. Ovviamente l'impatto di un'arginatura e dei manufatti di regolazione di altezza di 10 ÷ 12 m, imporrebbero dei vincoli sul territorio di tale entità da risultare di difficile attuazione in quanto ambientalmente e territorialmente incompatibili.

Pertanto è scaturita la necessità di garantire la protezione nei tratti di valle, con particolare riferimento agli attraversamenti dell'abitato di Monza e Milano, mediante l'aumento della



capacità idraulica di tali tronchi d'alveo, ottenibile attraverso la realizzazione di by-pass e opere di risezionamento, ove questo sia compatibile con la pressione antropica lungo le sponde del fiume.

Altri allagamenti puntuali hanno trovato soluzione con la rimozione di ostacoli al deflusso (ponti in pressione o tracimati), ovvero con rinforzo di sistemi arginali.

Si sottolinea che nei tratti compresi tra Villasanta e la confluenza con il Deviatore Redefossi, non è possibile, a causa della rilevante pressione antropica, individuare aree da destinare alla creazione di nuove opere di laminazione. In tali tratti, secondo quanto definito dalle linee generali, sono state mantenute le poche aree naturali già soggette ad allagamento (Parco di Monza, Parco Lambro, ecc.); tali aree, come già dimostrato nella relazione idraulica, hanno un'estensione limitata e i volumi disponibili, escludendo la possibilità di approfondire il piano campagna o di elevare degli argini di contenimento oltre gli attuali limiti naturali (interventi ambientalmente e tecnicamente improponibili dato il contesto territoriale in cui sono inseriti), sono esigui rispetto alle necessità di laminazione: si evidenzia che nei tratti urbani di Monza e Milano il volume idrico che eccede la compatibilità idraulica assume valori compresi tra 6 e 14 milioni di metri cubi, mentre i volumi compresi nelle aree naturali soggette ad allagamento lungo il tratto urbano dell'asta fluviale sono complessivamente pari a circa 1,5 milioni di metri cubi.

Pertanto, per ottenere la messa in sicurezza dell'intero corso d'acqua, con particolare attenzione alle situazioni di maggior criticità, si è quindi operato nel seguente modo:

- prima di tutto si è ricercato il massimo effetto di riduzione della portata al colmo attraverso lo sfruttamento compatibile di tutti i volumi d'invaso lungo l'asta del Lambro e dei suoi principali affluenti (Bevera di Molteno e Bevera di Renate). Negli interventi di laminazione è stata presa in considerazione anche la possibilità di regolazione del lago di Pusiano in modo da usufruire al massimo delle sue capacità di riduzione del colmo di piena. La superficie del lago è di circa 5 km<sup>2</sup> e il massimo volume d'invaso disponibile è pari a circa 10.000.000 m<sup>3</sup>, tenendo in conto di un'escursione di livello di circa 2 m, compatibile con l'attuale incile artificiale (Cavo Diotti) e gli insediamenti presenti sulle sponde;
- si sono limitati gli ingressi delle reti di drenaggio urbano a valori compatibili con i limiti imposti dalle attuali normative regionali (P.R.R.A.). Tale aspetto è molto importante in quanto la sola portata derivante dalle reti di drenaggio urbano è superiore alla portata massima che può transitare nelle zone critiche del bacino;
- nei tratti in cui gli interventi suddetti non si sono dimostrati sufficienti si è proceduto prevedendo opere locali di protezione (nuove arginature) o aumentando la capacità dell'alveo, mediante la rimozione di eventuali ostacoli locali al deflusso (ponti e traverse) ed in ultima istanza aumentando la capacità di deflusso attraverso la realizzazione di diversivi (nei tratti in cui l'alveo scorre all'interno di centri abitati senza la possibilità di essere allargato) o opere di risezionamento (nei tratti in cui ciò si è dimostrato compatibile con l'assetto urbanistico, ad esempio a valle di viale Forlanini a Milano).

E' importante sottolineare che la scelta di adottare diversivi è stata maturata come ultima istanza, dopo aver considerato ogni tipo di intervento, tecnicamente ed ambientalmente compatibile con le diverse situazioni locali, in grado di ridurre la portata in alveo.

Alternativa a tali opere resta pertanto l'adozione di un grado di protezione minore per i tratti in oggetto e il varo di normative urbanistiche estremamente riduttive nei riguardi dell'utilizzazione del piano terra degli edifici, al fine di contenere i danni in caso di allagamento.

## **1.5 CONSIDERAZIONI SULL'AFFIDABILITÀ COMPLESSIVA DELLE SIMULAZIONI CONNESSE AGLI INTERVENTI**

I Piani di Assetto Idrogeologico PAI adottati dalle Autorità di Bacino individuano lungo le aste fluviali di interesse i valori delle portate e dei livelli idrometrici di piena riferiti a tempi di ritorno molto elevati e le corrispondenti delimitazioni delle fasce di pertinenza fluviale, naturali o di progetto. Si tratta di una impostazione finalmente nuova e lungimirante della politica territoriale del nostro Paese, tesa a riconquistare gli ampi spazi necessari per una piena tutela idraulica ed ecologica degli ambienti fluviali e per ridurre convenientemente i rischi idraulici dei territori e degli insediamenti limitrofi.

Poiché nei corsi d'acqua del nostro Paese, ed in particolare nell'ambito in studio, si verifica assai raramente che gli eventi di elevato tempo di ritorno conducano a onde di piena non esondanti dagli alvei di normale deflusso, le portate di riferimento PAI nelle sezioni di interesse dipendono strettamente, oltre che dalle stime idrologiche, anche dalle esondazioni naturali o programmate a monte delle stesse sezioni. Queste infatti giocano un ruolo significativo nell'attenuazione e nella deformazione degli idrogrammi di piena. Nella maggioranza dei casi, quindi, la modellistica necessaria, di tipo integrato e distribuito, esamina congiuntamente la formazione idrologica delle piene sui bacini e la propagazione idraulica nelle aste fluviali e nelle relative aree di esondazione e invaso.

L'affidabilità complessiva delle simulazioni è ovviamente legata alla validità dei sub-modelli coinvolti e alla attendibilità dei parametri in essi considerati, e dipende dalle calibrazioni possibili con i dati sperimentali disponibili, frequentemente assai carenti e di dubbia qualità.

In ultima analisi, ai fini della delimitazione delle fasce fluviali, contano i livelli idrometrici massimi calcolati nelle diverse situazioni. Sono i livelli idrometrici massimi, infatti, il dato essenziale per verificare sul terreno l'estensione trasversale delle correnti e delle esondazioni fluviali e quindi anche l'estensione dei territori da vincolare a fini idraulici. I livelli idrometrici massimi che si formano nel corso di eventi estremi dipendono sia da fenomeni sostanzialmente *imprevedibili*, quali le dinamiche meteorologica e idrogeologica di versante, il trasporto solido di fondo, in sospensione e galleggiante e la conseguente evoluzione morfologica degli alvei, assai mutevoli nel corso degli eventi ma considerati assenti nelle usuali modellazioni a fondo fisso, sia da fenomeni idrologico – idraulici che, pur simulabili e *prevedibili*, presentano purtroppo ampi margini di incertezza. Tuttavia, se ci si riferisce agli eventi di elevatissimo tempo di ritorno (200 – 500 anni) presi in considerazione dai PAI, per i quali è minore l'influenza delle incertezze circa la

morfologia del fondo alveo e circa i coefficienti di scabrezza, nelle aste interessanti le pianure alluvionali l'ordine di grandezza dell'approssimazione nella stima dei livelli massimi è di qualche decina di centimetri, a parità di geometria dell'alveo e delle singolarità in esso presenti.

Anche se tale incertezza potrebbe apparire ridotta, problemi pesanti ne derivano nei siti caratterizzati da terreni d'esondazione pianeggianti, ove a poche decine di centimetri di livello idrometrico corrispondono incertezze talvolta di centinaia di metri sulla larghezza delle fasce fluviali.

L'esperienza mostra come le alluvioni disastrose si manifestino, almeno nelle pianure alluvionali, per sorpassi arginali di poche decine di centimetri, quando ovviamente non avvengano per cedimenti strutturali delle opere di difesa o per altre carenze tecniche. In molte dolorose circostanze sarebbe stato sufficiente un maggior franco arginale di mezzo metro o l'assenza negli alvei di strutture dannose per evitare i danni e le perdite lamentate.

È singolare, ma assai importante, che si misuri in decine di centimetri sia l'incertezza delle simulazioni modellistiche sia la possibilità reale di successo delle opere di difesa fluviale.

Interessa qui mettere in evidenza che i livelli idrometrici massimi relativi a 200 e 500 anni nella zona pianeggiante del corso d'acqua in oggetto differiscono tra di loro di circa 20 – 30 cm e che *tale differenza è dello stesso ordine di grandezza delle incertezze insite nella modellazione*. La crisi del Canale Scolmatore di Nord Ovest durante l'evento del novembre 2002 dimostra come l'innalzamento di poche decine di centimetri del livello in alvei in zona pianeggiante possa di fatto indurre situazioni di allagamento estese.

Parallelamente può essere condotto il discorso per quanto concerne i volumi delle zone di esondazione e delle casse di laminazione. Si porta ad esempio la situazione del fiume Po. A seguito della catastrofica piena dell'ottobre 2000 (di gran lunga la massima storica in Piemonte) l'Autorità di Bacino del Po ha fatto effettuare uno studio sulla dinamica della piena nel tratto di oltre 60 km compreso tra foce Dora Baltea a monte e foce Tanaro a valle, allo scopo di confermare o ridefinire le linee guida di progettazione delle nuove arginature e delle casse d'espansione del tratto. Ne è seguita la previsione di sei nuove grandi aree di espansione, esterne alle fasce fluviali già definite dal PAI, necessarie per compensare gli effetti di esaltazione dei colmi derivanti dalle opere di difesa e di allargamento di sezione necessarie nell'attraversamento degli importanti centri abitati della zona (Trino Vercellese, Casale Monferrato, ecc.). Orbene, con una tesi di laurea mirata si è ristudiata una di tali casse (la più valliva) avente una superficie di circa 10 km<sup>2</sup> ed un volume di invaso di circa 25 milioni di m<sup>3</sup>, cercando di individuarne le caratteristiche funzionali e gestionali atte ad ottimizzare l'effetto laminante. A prescindere dal fatto che tale ottimizzazione è risultata diversa in funzione della forma ed entità dell'onda di piena, sicché le caratteristiche tecniche e funzionali emerse come ottimali per l'onda dell'ottobre 2000 sono risultate differenti da quelle ottimali per altre onde di piena, è emerso che i benefici ottenibili con tale cassa sono misurabili in termini di pochi decimetri di abbattimento dei livelli massimi. Per la piena del 2000, avente un volume complessivo di circa 1600 milioni di m<sup>3</sup>, simulando una gestione dell'invaso in tempo reale in modo da ottimizzarne l'entrata in funzione, si ottiene una riduzione del colmo di portata da 8900 a 8400 m<sup>3</sup>/s (una riduzione quindi del 5 % circa) e del colmo di livello di circa 10 cm. Per la piena del settembre 1994 si ottiene analogamente, ma con accorgimenti e manovre

differenti, una riduzione del colmo di portata da 7700 a 6900 m<sup>3</sup>/s (una riduzione quindi del 10 % circa) e del colmo di livello di circa 25 cm. In ogni caso, quindi, si giungerebbe a prefigurare l'imposizione di pesanti vincoli territoriali ad un'area di ben 10 km<sup>2</sup> per ottenere *benefici idraulici dello stesso ordine di grandezza delle approssimazioni di calcolo*.

Prudenzialmente si dovrebbe quindi affermare che il sacrificio ben definibile e monetizzabile derivante dall'acquisizione alla pertinenza fluviale di nuove ampie aree determina benefici idraulici locali *non misurabili* in termini tecnico – scientifici.

Si noti che non si sta affatto dicendo che l'espansione delle piene nelle aree di esondazione previste dai PAI determina benefici che, non essendo misurabili con certezza, sono da considerare trascurabili, giacché è ben chiara l'importanza dell'effetto combinato e globale delle espansioni distribuite lungo un'asta fluviale nell'attenuazione complessiva e determinante delle piene; si afferma solo che i limiti delle modellazioni e le approssimazioni dei calcoli sono notevoli in relazione alla pesantezza dei vincoli che ne conseguono sul territorio.

L'uomo di oggi manifesta una decisa insofferenza nei confronti dei politici e dei tecnici allorché le alluvioni provocano danni e perdite ingenti. L'evento alluvionale tende a non essere più considerato alla stregua di altre catastrofi naturali per le quali l'uomo rimane disarmato. Le alluvioni sembrano rientrare nella categoria degli eventi naturali controllabili. D'altra parte come respingere questa posizione concettuale se il controllo o meno di un'esondazione dipende, almeno nelle pianure alluvionali, da poche decine di cm di livello idrometrico o da aspetti tecnici legati alla sufficienza dei franchi arginali, alla tenuta degli argini o di altre strutture tecnologiche?

Se, infatti, l'intervallo di incertezza dei livelli idrometrici massimi è dell'ordine delle decine di centimetri, come è possibile che gli ingegneri e i politici non sappiano configurare opere fluviali "*sicure*"?

In sostanza è logico che gli stessi PAI, basandosi sulla simulazione di eventi di tipo catastrofico, adottino pesanti misure vincolistiche, pianifichino rilevanti opere strutturali, che oltretutto condizionano significativamente l'entità e la forma delle stesse onde di piena di riferimento, e poi debbano temere l'insuccesso per poche decine di centimetri di tirante idrico?

La nuova e lungimirante linea politica introdotta dai PAI può essere condivisa ed accettata solo se dimostra con autorevolezza tecnico – scientifica e con il progressivo riscontro sperimentale che i gravi sacrifici imposti configurino il raggiungimento di elevatissimi livelli di sicurezza. Grave sarebbe se, pur avendo messo in atto le misure previste dai PAI, si dovessero purtroppo riscontrare ancora perdite e danni provocati da insufficienze dimensionali o strutturali delle opere e da allagamenti di aree non previste, eventualmente accompagnate da un contemporaneo non allagamento di aree inserite nelle fasce.

Sembra quindi di dover concludere che la nuova e lungimirante politica territoriale introdotta dai PAI debba preludere ad una nuova sfida per gli ingegneri e per i decisori politici. In una problematica infatti attinente ad eventi catastrofici si richiede *fin da ora* il

raggiungimento di elevatissimi livelli di sicurezza progettuale e di capacità di controllo a cui forse politici e tecnici non erano abituati.

## 1.6 CONCLUSIONI

Negli studi effettuati per definire l'assetto di progetto, si è tenuto in particolare cura quanto di seguito riportato:

- il fiume Lambro, generalmente incompatibile con le portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni, è suddivisibile in cinque tratti con differente comportamento idraulico. In tali tratti tuttavia i centri più esposti agli eventi alluvionali sono ben localizzabili e delimitati;
- la capacità dei tratti urbani di Monza e Milano è molto ridotta rispetto alle portate in gioco durante gli eventi di piena registrati e assunti a base di progetto (la portata compatibile è pari a meno della metà della portata idraulica con tempo di ritorno 200 anni);
- la necessaria riduzione delle portate non può che avvenire all'interno del bacino del Lambro, in quanto l'entità globale della riduzione è tale da non poter essere sopportata da nessun altro corso d'acqua limitrofo;
- la riduzione delle portate in alveo distribuita sin dalla zona alta del bacino, consente, come effetto secondario, di ridurre il numero delle opere inadeguate e/o incompatibili. Di fatto con le modellazioni in atto viene praticamente già attuata la verifica di compatibilità di cui all'art. 19 comma 2 delle norme PAI. Dato il notevole impatto delle opere interferenti sul corso d'acqua in oggetto, la riduzione distribuita di portata appare estremamente vantaggiosa in tal senso. La realizzazione di opere strategiche comporta una logica di salvaguardia, nei limiti di sicurezza idraulica, che si fonda sulla constatazione che molti manufatti sono ormai parte integrante dell'ambiente fluviale (come inteso nel contesto in oggetto) oltre che nodi viari di fondamentale importanza;
- il controllo dei deflussi deve avvenire a partire dai reticoli artificiali e dagli affluenti (es. torrente Bevera di Molteno che con i suoi contributi elevati ha indotto allagamenti nel 2002) in quanto il trasporto a valle di portate e volumetrie incontrollate indurrebbe soluzioni sempre più vincolanti ed onerose. A tal fine occorre la massima sinergia di azione tra interventi sul reticolo naturale ed interventi sul reticolo di drenaggio urbano. I limiti alle portate scaricate, sia dalle reti esistenti sia dalle nuove zone urbanizzate, devono essere assolutamente vincolanti al fine di non vanificare gli effetti della soluzione progettuale;
- le aree naturali di espansione ancor oggi esistenti devono essere assolutamente tutelate al fine di non peggiorare le problematiche di valle ed alterare in senso negativo gli equilibri idraulici del corso d'acqua. Occorre pertanto un controllo degli interventi di rifacimento dei singoli manufatti al fine di verificare l'influenza della nuova configurazione sugli effetti di laminazione naturale del corso d'acqua;

- per la mancanza di disponibilità di volumetrie in grado di ridurre le portate a valori compatibili con gli attraversamenti dei principali centri di pericolo è risultato necessario prevedere opere in grado di aumentare la capacità di deflusso dell'alveo (opere di risezionamento, diversivi);
- i margini di sicurezza da assumere (in termini di capacità delle opere progettate in grado di assorbire eventi mediamente più gravosi di quelli di progetto senza indurre situazioni di crisi) nella configurazione delle opere devono essere rapportati al danno atteso in caso di insufficienza dell'opera. In un contesto quale quello del nord-milano, in caso di fallanza di un'opera, i danni, dato il grado di pressione antropica del territorio, risultano immediatamente elevatissimi.

## **2 INTERVENTI PREVISTI IN PASSATO**

### **2.1 INTRODUZIONE**

Il fiume Lambro è stato già oggetto in passato di studi e considerazioni rivolti sia al suo comportamento idraulico, sia alla qualità delle sue acque, perché il “problema Lambro” non è di nascita recente. A titolo d’esempio, la prima denuncia scritta di inquinamento delle acque del fiume Lambro redatta dai cittadini di Sovico al loro Sindaco è datata 1894.

Per quanto riguarda l’oggetto del presente studio ci si sofferma brevemente solo agli studi idrologici ed idraulici.

In particolare gli atti che sono stati esaminati sono i seguenti:

- Sistemazione del fiume Lambro proposta dal “Comitato Coordinatore per le Acque della Provincia di Milano” nel 1937;
- “Proposte per la sistemazione idraulica del Lambro e per il riassetto paesaggistico della sua valle”, detto “Piano Lambro” – Provincia di Milano, 1986;
- Progetto esecutivo per i “Lavori di sistemazione delle opere idrauliche del Lambro Settentrionale nel tronco compreso tra il ponte dell’autostrada MI-BG ed il ponte di

innesto alla tangenziale est di C.na Gobba nei comuni di Brugherio e Milano” del Magistrato per il Po di Parma – 1989 ÷ 1997.

- “Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta” di competenza della Regione Lombardia, redatto dagli scriventi nel 1998;
- “Progetto di Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico” redatto dall’Autorità di Bacino del fiume Po.

Come si nota dalla lettura dei seguenti riassunti, si sono succedute nel passato logiche diverse d’intervento, dettate dalla diversa condizione del bacino, sia a livello urbanistico, sia a livello di qualità del sistema fluviale e delle portate defluenti. Il risanamento avviato negli anni ’80, con la formazione di reti di collettamento e depuratori, consente oggi la riproposizione parziale di alcune logiche d’intervento già individuate quasi un secolo or sono e poi accantonate per via del degrado del corso d’acqua, per anni considerato l’emblema dell’inquinamento fluviale.

## **2.2      COMITATO COORDINATORE PER LE ACQUE DELLA PROVINCIA DI MILANO**

Il “Piano generale di coordinamento” dell’area compresa tra i fiumi Ticino e Adda elaborato dal “Comitato Coordinatore delle Acque” della Provincia di Milano mostrava una stima delle “deficienze di scarico” in caso di piena di tutti i corsi d’acqua nell’area considerata (tra i quali il Lambro Settentrionale e quello Meridionale) e un’indicazione qualitativa delle aree esondate in caso di piena. La logica di intervento proposta in tale studio come soluzione al problema prevedeva una serie di canali scolmatori delle piene dei corsi d’acqua maggiori (Olona, Seveso, Lambro, Naviglio Grande, Molgora) diretti principalmente verso i fiumi Ticino e Adda.

In particolare, per quanto riguarda il fiume Lambro, era stato ipotizzato uno scolmatore all’altezza del lago di Pusiano verso il lago di Annone e quindi verso il lago di Lecco e l’Adda. Anche le acque del torrente Bevera di Molteno (il principale affluente del Lambro nel tratto tra la sorgente e Villasanta) sarebbero state scaricate nel lago di Pusiano.

Lo scoppio della guerra nel 1940 non consentì la realizzazione di alcuna delle opere previste.

Dopo le alluvioni degli anni 1947 e 1951 fu redatto sempre da parte del “Comitato Coordinatore delle Acque” un nuovo progetto generale di sistemazione che prevedeva due scolmatori delle piene del Lambro: quello già detto del lago di Pusiano e un secondo a nord di Monza (poi detto “Canale Scolmatore Nord-Est”) convogliante verso l’Adda parte delle acque di piena. Fu segnalata comunque anche la necessità di una generale sistemazione d’alveo in tutto il tratto tra Villasanta e la confluenza nel fiume Po.

Come evidente si puntava alla risoluzione dei problemi idraulici dell’area milanese mediante la deviazione delle piene verso i due maggiori fiumi della zona: Adda e Ticino.



## 2.3 PROGETTO LAMBRO

Lo studio più famoso e completo è il Piano di Bacino del Lambro predisposto dalla Provincia di Milano nel 1986 e denominato “Progetto Lambro”; tale studio aveva lo scopo di individuare i criteri di sistemazione idraulica del fiume Lambro Settentrionale, in coerenza con le linee generali previste da Stato, Regione, Magistrato per il Po, Province, Comuni, in tema di difesa del territorio, compresa la sistemazione di corsi d’acqua e il loro disinquinamento. A tale scopo era stato organizzato un gruppo di lavoro sotto il coordinamento generale del dott. Ing. Edoardo Meschia. Per gli aspetti idrologici ed idraulici il gruppo era formato dal dott. ing. Carlo Cerabolini, il prof. ing. Ugo Maione, il dott. ing. Franco Rege Gianas e il prof. ing. Domenico Zampaglione. Nelle conclusioni tratte dal “Progetto Lambro” si rileva come negli ultimi decenni il rischio di esondazione si sia progressivamente aggravato per la maggiore entità e frequenza degli eventi di piena, a causa della più estesa urbanizzazione del bacino e della minore capacità di portata del corso d’acqua in alcuni tratti, dovuta a strozzature locali, a limitazioni di quota imposte dai manufatti di attraversamento e a carenza di manutenzione.

Tra gli obiettivi del progetto sono stati assunti come prioritari i problemi della difesa dalle piene e delle conseguenti esondazioni. Perciò è stato elaborato un modello per la trasformazione afflussi-deflussi e per la definizione dei livelli di piena e l’individuazione delle zone soggette a rischio di esondazione. A tal fine è stato effettuato anche un censimento di tutti i manufatti di attraversamento, individuando quelli insufficienti e quindi da modificare.

I calcoli del 1986 dei profili di piena sono stati effettuati lungo tutta l’asta principale del Lambro, rappresentata adottando 21 sezioni rilevate, tra le quali la pendenza del fondo è stata ricavata come valore medio.

Per quanto riguarda le varie possibilità di intervento sul bacino del Lambro, il Piano di Bacino riteneva non efficace un maggiore utilizzo dei laghi di Alserio e Pusiano come bacini di accumulo per la laminazione delle piene del tratto di fiume a valle di Milano, anche perché potenziali generatori di inconvenienti igienico-ambientali, manifestando analoghe perplessità per un’ipotesi di volanizzazione in bacini artificiali a monte di Monza. Era ritenuta anche impraticabile la soluzione della realizzazione dello scolmatore Nord-Est delle piene del fiume Seveso e del fiume Lambro verso il fiume Adda finché non fosse risolto il problema degli alti carichi inquinanti dei due corsi d’acqua. Dai realizzatori dello studio è stata invece considerata praticabile la sistemazione dell’alveo del fiume con saltuari interventi di difesa a monte e a valle del tratto considerato più critico (tra Villasanta e Melegnano) per il quale viene proposto l’abbassamento delle livellette di fondo. Viene quindi proposta la soppressione delle traverse abbandonate con realizzazione di protezioni spondali se necessarie, la sostituzione delle traverse fisse ancora utilizzate con traverse mobili, ristabilire ove possibile le zone golenali con opportune arginature, l’ampliamento delle luci libere sotto i ponti, la difesa locale delle sponde da erosioni con opere radenti in pietrame o altro.

## **2.4 PROGETTO ESECUTIVO PER I “LAVORI DI SISTEMAZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE DEL LAMBRO SETTENTRIONALE NEL TRONCO COMPRESO TRA IL PONTE DELL’AUTOSTRADA MI-BG ED IL PONTE DI INNESTO ALLA TANGENZIALE EST DI C.NA GOBBA NEI COMUNI DI BRUGHERIO E MILANO”**

Il progetto esecutivo prevedeva l’adeguamento dell’alveo attraverso la ricalibratura delle sezioni trasversali al fine di garantire il deflusso di una portata di massima piena pari a 520 m<sup>3</sup>/s, con un franco non inferiore a 50 cm; tale progetto non prevedeva peraltro l’adeguamento delle opere di attraversamento. Di tale progetto sono state realizzate le opere relative ai primi due stralci, mentre non sono state realizzate le opere relative al terzo stralcio, che comprendono il tratto di alveo a valle del ponte dell’Autostrada A4 e il tratto compreso tra il ponte stradale dello svincolo della tangenziale a Cologno Monzese e il ponte dello svincolo della tangenziale di Palmanova a Cascina Gobba.

## **2.5 PROGETTO PRELIMINARE DI SISTEMAZIONE DEL FIUME LAMBRO A MONTE DI VILLASANTA**

Il Progetto Preliminare in oggetto riguarda le opere di riassetto idraulico dell’asta del fiume Lambro di competenza della Regione Lombardia dalle sorgenti sino al ponte di S. Giorgio in comune di Villasanta (MI).

Il disciplinare d’incarico prevedeva due distinte attività collegate tra loro in cascata:

- studio idrologico ed idraulico del bacino del fiume Lambro fino alla sezione di Villasanta;
- progetto preliminare delle opere di sistemazione idraulica.

La prima fase, di fondamentale importanza per quanto concerne le scelte progettuali, si è articolata nei seguenti punti: studio del materiale esistente e raccolta della documentazione, individuazione delle portate idriche attuali e di progetto nelle sezioni di interesse con tempo di ritorno compreso tra 10 e 200 anni, individuazione dei livelli idrici di massima piena, delle aree esondate storicamente e delle aree attualmente a rischio di esondazione per eventi con tempo di ritorno bicentenario e per un tempo di ritorno inferiore scelto come piena di progetto, indicazione di dettaglio dei dissesti e delle insufficienze idrauliche.

La seconda fase di tale progetto ha potuto invece individuare le migliori soluzioni progettuali idonee ad una completa sistemazione idraulica del corso d’acqua, supportando le scelte con analisi della fattibilità tecnica, economica ed ambientale delle opere. Gli interventi prescelti riguardano un’ampia gamma di soluzioni in quanto ampia e diversificata risulta la morfologia del corso d’acqua sia nelle sue caratteristiche naturali come nelle pesanti modificazioni subite negli anni a seguito della presenza dell’uomo. In particolare le due problematiche di maggior rilievo riscontrate risultano le seguenti:

- bacino prelacuale: il trasporto solido in fase di piena, specie in corrispondenza dei principali affluenti;
- bacino sublacuale: l'insufficienza delle sezioni e dei manufatti nei riguardi delle portate di piena anche di non elevata entità.

Di conseguenza le metodologie di intervento nelle due zone sono risultate diverse ed in particolare le seguenti:

- bacino prelacuale: formazione di opere di trattenuta del materiale solido sia sull'asta principale sia in particolare sugli affluenti di maggior rilievo (torrente Foce, torrente Ravella, torrente Bova);
- bacino sublacuale: formazione di opere di laminazione delle portate e di adeguamento delle difese spondali esistenti e dei manufatti.

Per quanto concerne l'insieme delle caratteristiche influenti sul Progetto sicuramente la zona sublacuale ha rappresentato l'ambito dove gli interventi più risentono dei vincoli esistenti e dove pertanto risulta più difficile l'indicazione di soluzioni standard che si adattino ad ogni situazione. In particolare si è riscontrato come, a fronte di una naturale e determinante azione laminante esercitata dal lago di Pusiano, non risultano facilmente reperibili ulteriori aree di notevole estensione da adibire a cassa di espansione. Infatti a valle di Inverigo e Veduggio la valle del Lambro presenta una larghezza assai modesta, unitamente ad una pressione antropica che si spinge frequentemente sino alle sponde, e talvolta all'interno dell'alveo, tale da non consentire la localizzazione di adeguate casse di espansione. Per tale motivo il ruolo cardine degli interventi di laminazione e riduzione delle portate è stato individuato nella corretta gestione del deflusso dal lago di Pusiano (attraverso l'emissario naturale e ben di più tramite l'esistente opera di regolazione) e nella salvaguardia e adeguamento delle poche aree di naturale espansione esistenti a monte della provincia di Milano, in sostanziale accordo con l'attività svolta da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po nella redazione della bozza di Piano delle Fasce Fluviali. È da sottolineare infatti come i risultati emersi nel progetto concordano con gran parte delle indicazioni contenute nel detto Piano Fasce e si differenziano dallo stesso unicamente per zone dove il dettaglio a disposizione degli scriventi ha consentito un maggiore approfondimento.

Come accennato, oltre a soluzioni strutturali (casse d'espansione, rinforzi e risagomature arginali e spondali, rifacimento ed adeguamento di attraversamenti, riprofilatura e rinaturalizzazione del fondo alveo), si è fatto ricorso a soluzioni progettuali non strutturali ed in particolare a suggerimenti utili alla pianificazione dell'uso del suolo in prossimità dell'alveo e alla gestione e regolazione delle portate. In merito alla prima tematica l'elevata pressione antropica sviluppatasi a ridosso del fiume specie all'inizio secolo, quando l'acqua del Lambro alimentava una serie ininterrotta di derivazioni che fornivano forza motrice agli opifici, pone vincoli alla possibilità di difesa strutturale. Non risulta infatti possibile realizzare, in un'ottica di corretta gestione ambientale ed economica, difese strutturali per insediamenti posti addirittura in alveo. Gli antichi realizzatori di tali insediamenti conoscevano i rischi derivanti dalla vicinanza del fiume, che peraltro forniva loro la ricchezza, e quindi si attrezzavano affinché le periodiche esondazioni che interessavano i piani bassi non producessero danni ai beni. Oggi tale sensibilità si è

affievolita e si riscontrano numerose ristrutturazioni a fini abitativi in zone chiaramente soggette a rischio idraulico. In tali situazioni l'unico intervento possibile è di natura pianificatoria. In merito alla seconda tematica, data la notevole difficoltà a reperire zone di controllo della portata, si indica come fondamentale che la Regione Lombardia possa intervenire nella disciplina di gestione dell'opera di regolazione dei deflussi dal lago di Pusiano, affinché errate manovre sulla stessa non vanifichino tutti i benefici indotti dalle opere in progetto.

Un ulteriore aspetto non trascurabile è quello relativo al rispetto dei vincoli e delle peculiarità della valle. A tal fine si sono sempre confrontate le soluzioni prescelte con le previsioni pianificatorie dei comuni e del Parco Valle del Lambro cercando di conciliare le esigenze ambientali e storiche con la primaria esigenza di protezione civile.

## 2.6 PIANO STRALCIO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) è stato adottato in base alla delibera n.18/2001 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po, *"Adozione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino idrografico di rilievo nazionale del fiume Po"*.

Il PAI ha lo scopo di assicurare, attraverso la programmazione di opere strutturali, vincoli, direttive, la difesa del suolo rispetto al dissesto di natura idraulica e idrogeologica e la tutela degli aspetti ambientali ad esso connessi.

Tra le varie problematiche e criticità affrontate dal PAI, è stata presa in esame la valutazione delle aree inondabili lungo i corsi d'acqua principali nei tratti di pianura e di fondovalle montano.

Tra i vari bacini presi in esame dal PAI è presente anche quello del fiume Lambro, dal lago di Pusiano fino alla confluenza nel Po.

La delimitazione delle fasce fluviali è stata condotta secondo una metodologia che definisce tre distinte fasce:

- la *fascia A* o fascia di deflusso della piena, è costituita dalla porzione di alveo che è sede prevalente, per la piena di riferimento con tempo di ritorno pari a 200 anni, del deflusso della corrente; per la delimitazione della stessa si assume quella più ampia fra:
  1. fissato in 200 anni il tempo di ritorno della piena di riferimento e determinato il livello idrico corrispondente, si assume come delimitazione convenzionale della fascia la porzione ove defluisce almeno l'80% di tale portata. All'esterno di tale fascia la velocità della corrente deve essere minore o uguale a 0.4 m/s (criterio prevalente per i corsi d'acqua mono o pluricorsuali);
  2. limite esterno delle forme fluviali potenzialmente attive per la portata con tempo di ritorno di 200 anni (criterio prevalente nei corsi d'acqua ramificati).

- la *fascia B* o fascia di esondazione, esterna alla precedente, è costituita dalla porzione di alveo interessata da inondazione al verificarsi dell'evento di piena di riferimento. Il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena di riferimento, ovvero sino alle opere idrauliche di controllo delle inondazioni dimensionate per la stessa portata; la delimitazione sulla base dei livelli idrici va integrata con:
  1. le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate, dal punto di vista morfologico, paesaggistico e talvolta ecosistemico alla dinamica fluviale che le ha generate;
  2. le aree di elevato pregio naturalistico e ambientale e quelle di interesse storico, artistico, culturale strettamente collegate all'ambito fluviale.
- la *fascia C* o area di inondazione per piena catastrofica, è costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Come portata si assume la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un tempo di ritorno superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con 500 anni di tempo di ritorno.

Per i corsi d'acqua non arginati la delimitazione viene effettuata con gli stessi criteri adottati per la fascia B.

Per i corsi d'acqua arginati l'area è delimitata unicamente nei tratti in cui lo rendano possibile gli elementi morfologici disponibili; in tali casi la delimitazione è definita in funzione della più gravosa delle seguenti due ipotesi (se entrambi applicabili) in relazione alle altezze idriche corrispondenti alla piena:

1. altezze idriche corrispondenti alla quota di tracimazione degli argini,
2. altezze idriche ottenute calcolando il profilo idrico senza tenere conto degli argini.

Gli elementi conoscitivi necessari alla delimitazione delle fasce fluviali sono:

- caratteristiche geomorfologiche dell'alveo inciso,
- caratteristiche idrologiche, geometriche e idrauliche del corso d'acqua,
- caratteristiche ambientali e naturalistiche della regione fluviale,
- caratteristiche delle opere idrauliche e delle infrastrutture significative,
- caratteristiche delle aree e dei manufatti sottoposti a tutela paesaggistica ai sensi delle leggi n. 1497/39 e 431/85.

Lungo l'asta del fiume Lambro sono state individuate le seguenti situazioni di squilibrio:

- *instabilità morfologica dell'assetto planimetrico e altimetrico dell'alveo in relazione ai fenomeni di erosione spondale e di fondo, che si manifestano a danno delle opere di difesa e delle infrastrutture di attraversamento;*
- *elevato grado di artificializzazione del corso d'acqua nell'attraversamento dei territori urbanizzati, fino a Milano, in relazione alla riduzione delle capacità di laminazione;*
- *riduzione della sezione disponibile per il deflusso delle piene, per la presenza di localizzate formazioni di deposito alluvionale e per l'inadeguata altezza dell'intradosso di numerose infrastrutture di attraversamento, in particolare tra Merone e Linate;*
- *sistema difensivo frammentato e inadeguato al contenimento dei livelli idrici di piena. Monza, la periferia orientale e sud-orientale di Milano e il Lodigiano sono le zone maggiormente interessate da esondazioni che hanno per lo più carattere localizzato.*

Gli interventi principali previsti all'interno del PAI per l'asta del Lambro (comprendendo però anche l'asta del Seveso per la salvaguardia del nodo di Milano) sono:

- *completamento difesa del nodo di Milano: realizzazione scolmatore nord-est, adeguamento tratti arginali, raddoppio scolmatore nord-ovest, invasi di laminazione;*
- *adeguamento capacità di deflusso a valle.*

## **2.7 PIANO STRAORDINARIO PER LE AREE A RISCHIO IDROGEOLOGICO MOLTO ELEVATO (PS 267)**

Il Piano Straordinario 267 contiene l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato per l'incolumità delle persone e la sicurezza delle infrastrutture e del patrimonio ambientale e culturale ed, in particolare, è diretto a rimuovere le situazioni a rischio più alto.

Tra i rischi idrogeologici determinati dal PS267, sono inclusi i rischi di inondazione.

Per il reticolo idrografico minore di pianura, le aree connesse a tale rischio sono classificate e suddivise in due zone:

- *zona B-Pr, esternamente alla fascia B di progetto dei corsi d'acqua interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali determinate nel PAI: aree potenzialmente interessate da inondazioni per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni;*
- *zona I, in corrispondenza dei corsi d'acqua secondari, aree potenzialmente interessate da inondazioni per eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni.*

Per quanto riguarda i fenomeni di esondazione e di dissesto morfologico di carattere torrentizio sul reticolo idrografico in ambito collinare e montano, sono individuate le seguenti zone:

- *zona 1*, aree potenzialmente interessate dagli effetti di eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni, in cui si instaurano altezze idriche superiori o uguali a 0.5 m;
- *zona 2*, aree potenzialmente interessate dagli effetti di eventi di piena con tempo di ritorno inferiore o uguale a 50 anni, in cui si instaurano altezze idriche inferiori a 0.5 m.

Per le zone sopra riportate il Piano individua anche le misure di salvaguardia in cui sono definiti gli interventi che possono essere realizzati in tali aree.

I corsi d'acqua, oggetto da parte del PS267 di perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico molto elevato, con riferimento al rischio idraulico di inondazione, appartenenti al bacino del Lambro sono i seguenti:

- torrente Bevera e Gandaloglio nei comuni di Molteno, Oggiono e Sirone;
- torrente Bova nei Comuni di Erba e Ponte Lambro;
- fiume Lambro da Merone a Villasanta, con particolare riferimento alla frazione di Agliate a Carate Brianza e alla località S.Giorgio nei comuni di Villasanta (MI) e di Biassono (MI);
- fiume Lambro da ponte S. Giorgio a Villasanta al ponte sull'autostrada A4 in comune di Monza;
- fiume Lambro dal ponte MM – Cascina Gobba alla traversa di Bolgiano in Comune di Milano.

Di tali tratti sono stati effettuati i progetti esecutivi relativi al torrente Gandaloglio e al torrente Bova, e sono in corso le progettazioni relative alla frazione di Agliate e S. Giorgio.

In base alla delibera n.18/2001 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po di "*Adozione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico per il bacino idrografico di rilievo nazionale del fiume Po*", le aree del Piano Straordinario 267 sono ricomprese nelle aree a rischio idrologico molto elevato del PAI, delimitate nella cartografia di cui all'Allegato 4.1 all'Elaborato 2 ("*Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici*").

Tali aree sono sottoposte alla Normativa del PAI, Titolo IV, articoli dal n. 48 al n. 54.

### **3 ANALISI DEGLI INTERVENTI**

#### **3.1 PREMESSA**

Come esposto nei precedenti capitoli, mediante i calcoli idrologici e le analisi idrauliche, si è compiuta l'individuazione delle insufficienze e di conseguenza degli interventi di progetto, nell'ottica di garantire sicurezza agli abitati ed alle infrastrutture presenti lungo l'asta.

Da tali analisi, sono scaturiti gli interventi progettuali previsti nel presente Studio di Fattibilità, i quali possono essere riassunti in sette tipologie:

1. opere di regolazione;
2. formazione di casce di espansione;
3. mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano zone golenali;
4. riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano;
5. adeguamento dei manufatti di attraversamento che ostacolano il deflusso di piena e inducono allagamenti in zone non compatibili;
6. realizzazione di opere di protezione locale (arginature);



7. aumento della capacità idraulica dell'alveo attraverso opere locali (ricalibrature d'alveo, diversivi, ecc.).

Gli interventi proposti concorrono alla definizione dell'assetto di progetto del fiume Lambro e sono tutti necessari al fine di ottenere la messa in sicurezza dell'intero sistema territoriale adiacente all'asta fluviale.

Vista la complessità delle problematiche presenti in tale contesto non è stato possibile prevedere alternative concrete in grado di soddisfare l'adeguamento dell'intera asta fluviale.

Di tutti gli interventi proposti è stata poi condotta un'analisi sulla priorità degli stessi (cfr. Relazione Descrittiva dell'*Attività 5.3.1 – 5.4.1 – Valutazione delle condizioni attuali di sicurezza del sistema difensivo e definizione dell'assetto di progetto*), legata sia all'effetto benefico che ogni singolo intervento induce sul sistema, sia alla facilità di realizzazione (soprattutto in termini di tempo).

Di seguito vengono elencati tutti gli interventi previsti, suddivisi nei cinque tratti in cui è stato suddiviso il tratto di Lambro in studio, e raggruppati nelle sette tipologie riportate in precedenza; per quanto riguarda gli interventi principali viene riportata nel paragrafo successivo una descrizione sintetica che ne evidenzia le principali caratteristiche.

Gli interventi che costituiscono l'assetto di progetto del fiume Lambro dal lago di Pusiano alla confluenza del Deviatore Redefossi sono:

**Tratto 1: da Merone (sezione LA132.19) al ponte S. Giorgio a Villasanta (sezione LA100.2)**

*1. opere di regolazione:*

- a) regolazione lago di Pusiano;

*2. formazione di casse di espansione:*

- a) a Merone sulla Bevera di Molteno;
- b) a Briosco sulla Bevera di Renate;
- c) a Molteno sul Gandaloglio;
- d) a Inverigo sul fiume Lambro;

*3. mantenimento delle aree di espansione naturale:*

- a) a Merone nei pressi della confluenza con il torrente Bevera di Molteno, escludendo le aree insediate;
- b) a Lambrugo;
- c) a Lesmo;

*4. adeguamento dei manufatti di attraversamento:*

- a) ponte LA124.1 (ponte via Magni a Inverigo);
- b) ponte LA111 (ponte via Garibaldi ad Agliate);
- c) ponte LA108.4 (ponte pedonale a Carate Brianza);
- d) ponte LA104.0 (tubazione aerea);
- e) ponte LA102.1 (ponte comunale a Biassono);
- f) ponte LA101 (passerella pedonale);
- g) ponte LA100.2 (ponte di S. Giorgio a Villasanta);
- h) traversa alla sezione LA111.1;
- i) traversa alla sezione LA110.3;
- j) traversa alla sezione LA108.5;
- k) traversa alla sezione LA107;
- l) traversa alla sezione LA105.3;
- m) traversa alla sezione LA105.1;
- n) traversa alla sezione LA103.4;
- o) traversa alla sezione LA103.1;
- p) traversa alla sezione LA101.1.

*6. opere di protezione locale (arginature):*

- a) tra le sezioni LA132.15 e LA132.13 in sponda destra;
- b) tra le sezioni LA132.6.1 e LA132.5 in sponda destra e sinistra;
- c) tra le sezioni LA132.5 e LA132.3 in sponda sinistra ;
- d) tra le sezioni LA130 e LA129.4 in sponda destra;
- e) sezione LA129.1 in sponda destra;
- f) tra le sezioni LA128.1 e LA128 in sponda destra;
- g) tra le sezioni LA127.1 e LA127 in sponda sinistra;
- h) tra le sezioni LA123.2 e LA123.1.1 in sponda sinistra;
- i) a monte sezione LA122.3 in sponda sinistra;

- j) tra le sezioni LA120.4 e LA120.3 in sponda sinistra;
- k) tra le sezioni LA118.1 e LA118 in sponda sinistra;
- l) tra le sezioni LA116 e LA114.1 in entrambe le sponde;
- m) in corrispondenza della sezione LA112.3 in sponda destra;
- n) tra le sezioni LA112 e LA111.1.1 in sponda destra;
- o) tra le sezioni LA110.4 e LA110.2 in sponda sinistra;
- p) in corrispondenza della sezione LA109.3 in sponda sinistra;
- q) in corrispondenza della sezione LA105.0 in sponda sinistra;
- r) tra le sezioni LA102.1 e LA102bis in sponda sinistra;
- s) in corrispondenza della sezione LA101.3 in sponda sinistra;
- t) tra le sezioni LA101.1.1 e LA100.2 in entrambe le sponde;
- u) tra le sezioni LA100.2 e LA100.1 in sponda sinistra;

*7. aumento della capacità idraulica dell'alveo:*

- a) by-pass in corrispondenza del ponte LA103.3 (ponte strada comunale a Triuggio);

**Tratto 2: dal ponte S. Giorgio a Villasanta (sezione LA100.2) al ponte dell'autostrada A4 Milano – Venezia (sezione LA91)**

*3. mantenimento delle aree di espansione naturale:*

- a) Parco di Monza;
- b) Zona compresa tra il Canale Villoresi e la tangenziale di Monza

5. *riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano*  
secondo i limiti imposti dal P.R.R.A. (Piano Regionale di Risanamento  
delle Acque);

7. *aumento della capacità idraulica dell'alveo:*

- a) by-pass in corrispondenza del ponte LA100.1 (ponte  
dei Bertoli);
- b) Diversivo di Monza

**Tratto 3: dal ponte dell'autostrada A4 Milano–Venezia (sezione LA91) al ponte della  
linea M.M. - Metropolitana Milanese (sezione LA81.3)**

4. *adeguamento dei manufatti di attraversamento:*

- a) ponte LA90.1 (ponte via S. Maurizio a Cologno  
Monzese);
- b) ponte LA84.1 (ponte via Di Vittorio a Sesto S.  
Giovanni);

5. *riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano*  
secondo i limiti imposti dal P.R.R.A. (Piano Regionale di Risanamento  
delle Acque);

6. *opere di protezione locale (arginature):*

- a) tra le sezioni LA91 e LA89 in sponda sinistra;
- b) a valle della sezione LA88.2 in sponda sinistra;
- c) tra le sezioni LA86.1 e LA86 in sponda sinistra;
- d) tra le sezioni LA83.2.1 e LA83 su entrambe le sponde.

7. *aumento della capacità idraulica dell'alveo:*

- a) modifica nodo idraulico Lambro – Naviglio Martesana,  
comprensivo dell'eliminazione delle portate di piena  
provenienti dal Trobbia;

**Tratto 4: dal ponte della linea Metropolitana Milanese (MM) (sezione LA81.3) al  
ponte di via Forlanini a Milano (sezione LA72.4)**

*3. mantenimento delle aree di espansione naturale:*

- a) al Parco Lambro, previa dislocazione degli insediamenti presenti;

*4. adeguamento dei manufatti di attraversamento:*

- a) ponte LA77 (ponte via Folli a Milano);
- b) ponte LA73.3 (ponte FS);
- c) traversa LA73.1 (in realtà l'adeguamento di tale manufatto è inserito nell'intervento più generale di ricalibratura dell'alveo, ripreso nel tratto 5 al punto 7.).

*5. riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano*  
secondo i limiti imposti dal P.R.R.A. (Piano Regionale di Risanamento delle Acque);

*6. opere di protezione locale (arginature):*

- a) Tra le sezioni LA81.3 e LA81.1 in sponda sinistra;
- b) Tra le sezioni LA81 e LA80.1 in sponda destra;

*7. aumento della capacità idraulica dell'alveo:*

- a) Diversivo di Milano

**Tratto 5: dal ponte di via Forlanini a Milano (sezione LA72.4) alla confluenza del Deviatore Redefossi (sezione LA60bis)**

*3. mantenimento delle aree di espansione naturale:*

- a) nel Parco Agricolo Sud Milano;

*4. adeguamento dei manufatti di attraversamento:*

- d) ponte LA72.4 (ponte via Forlanini);
- e) ponte LA72.3 (ponte svincolo tangenziale);

*5. riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano*  
secondo i limiti imposti dal P.R.R.A. (Piano Regionale di Risanamento delle Acque);

*6. opere di protezione locale (arginature):*

- a) Tra le sezioni LA67 e LA65.2 lungo entrambe le sponde;

*7. aumento della capacità idraulica dell'alveo:*

- a) raddoppio alveo da 20 a 40 m circa tra la sezione LA73 e LA67 (in corrispondenza dei ponti alle sezioni LA72 LA71.1, LA70.1, LA70, per i quali andrebbe previsto un intervento di adeguamento al franco, si avranno dei by-pass) e abbassamento delle traverse alle sezioni LA73.1, LA72.2, LA70.2, LA69

### **3.2 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI**

Le opere idrauliche preposte al conseguimento dell'assetto di progetto sono quelle riportate nel paragrafo precedente; tra di esse quelle che rivestono una maggiore importanza, sia in termini di efficacia nei riguardi dell'intero assetto di progetto, sia in termini di rilevanza della singola opera, sono le seguenti:

- regolazione del lago di Pusiano, mediante il recupero del nodo idraulico "Cavo Diotti";
- realizzazione di casse di espansione sugli affluenti di sinistra:
  - a Merone sulla Bevera di Molteno;
  - a Molteno sul Gandaloglio;
  - a Briosco sulla Bevera di Renate;
- regolazione dell'area di allagamento di Inverigo;
- by-pass di Monza,
- sistema di protezione locale a Brugherio e Cologno Monzese;
- by-pass di Milano;
- riprofilatura dell'alveo a Milano da Ortica a Bolgiano (raddoppio alveo e abbassamento di alcune traverse);
- riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano secondo i limiti imposti dal P.R.R.A. (Piano Regionale di Risanamento delle Acque).

Di seguito vengono descritti sinteticamente tali interventi e i benefici idraulici indotti dagli stessi; ulteriori informazioni vengono fornite nella relazione descrittiva dell'attività 5.4.1.

### **3.2.1 Regolazione dal Lago di Pusiano**

L'idea di contribuire alla riduzione delle piene del fiume Lambro mediante il lago di Pusiano non è recentissima, in quanto già nel 1939 il Comitato Coordinatore per le Acque della Provincia di Milano elaborò un "Progetto di riduzione a serbatoio dei laghi di Alserio e Pusiano per l'integrazione della magre del fiume Lambro e per l'eliminazione delle piene del suo alto bacino".

Tale progetto costituiva una parte del quadro di opere che il citato Comitato, istituito nel 1937 per risolvere le problematiche di piena del milanese e del pavese causate dai corsi d'acqua transitanti nella zona, aveva individuato.

All'ipotesi formulata di regolazione dei laghi di Pusiano e Alserio si giungeva dopo aver scartato la possibilità di uno scolmatore Lambro-Adda perché troppo costoso e di lunga attuazione rispetto ad una problematica di piena che veniva considerata urgente.

La progettazione di un sistema di monitoraggio del fiume Lambro al fine di predisporre un modello idraulico idoneo sia alla previsione di piena, sia alla gestione in tempo reale dell'opera di regolazione dell'uscita del lago di Pusiano è stata poi inserita nel Progetto Preliminare generale del fiume Lambro a monte di Villasanta predisposto dalla Regione Lombardia nel luglio 1998 e successivamente aggiornato nel marzo 1999.

L'intervento di regolazione del lago di Pusiano appare di facile attuazione in quanto esso presenta già un'opera di controllo, denominato Cavo Diotti, che funge da by-pass rispetto all'uscita naturale.

La superficie del lago è di circa 5,2 km<sup>2</sup>, mentre il dislivello massimo teoricamente disponibile, considerando la quota di massimo invaso pari a 262,00 m s.m. (livello di incipiente esondazione) e il livello minimo pari a 259,60 m s.m. (in relazione alla configurazione dell'attuale Cavo di Diotti), è pari a circa 2,4 m, pertanto il volume teoricamente disponibile è pari a circa 12.000.000 m<sup>3</sup>.

Si sottolinea il fatto che il termine "teoricamente" dipenda dall'effettivo livello del lago in corrispondenza dell'inizio dell'evento di piena, soprattutto nel caso di eventi intensi tra loro molto ravvicinati nel tempo. Inoltre, per quanto riguarda il livello minimo, è necessario tenere in conto le esigenze ittiche.

Si stima che il tempo di svuotamento del lago per far defluire i 12.000.000 m<sup>3</sup>, considerando una portata massima in uscita dal lago compatibile con l'asta fluviale di valle, pari a circa 40÷50 m<sup>3</sup>/s, è pari a circa 3,5 giorni. Si sottolinea che tale portata, comprensiva del ramo di uscita naturale e artificiale, è ottenibile mediante opportuni adeguamenti delle attuali paratoie di regolazione del Cavo di Diotti.

In realtà, specialmente a seguito di un evento di piena che abbia provocato l'invaso complessivo del lago, la coda dell'evento del Lambro prelacuale potrebbe essere piuttosto

prolungata, con conseguente tempo di svuotamento del lago anche molto più lungo. I tempi di ripristino della capacità di laminazione sarebbero quindi da ritenersi inaccettabili in stagioni in cui gli eventi intensi si susseguissero ripetutamente. Occorre evidenziare tuttavia come la crisi del sistema lago non sia generata da eventi brevi ed intensi, ma da eventi prolungati nel tempo e pertanto non ravvicinati.

La regolazione del lago di Alserio risulta invece poco significativa in quanto il deflusso naturale raggiunge valori ridotti sia per le dimensioni dell'emissario che per il ridotto bacino direttamente afferente: il bacino afferente al lago di Alserio è pari a 16,5 km<sup>2</sup>, mentre il bacino afferente al lago di Pusiano è pari a 95 km<sup>2</sup>.

Non risulta neppure opportuno collegare i due laghi per ottenere un maggiore volume invasabile (come da progetto del 1939) per i seguenti motivi:

- in aderenza a quanto previsto nel citato Progetto Preliminare del 1998 non si prevede di deviare negli invasi il corso della Bevera di Molteno (come previsto nel progetto 1939);
- la superficie del lago di Alserio risulta comunque ridotta e di conseguenza il beneficio ottenibile sarebbe comunque limitato;
- il livello medio del lago di Alserio risulta superiore al livello medio del lago di Pusiano;
- il lago di Alserio è attualmente oggetto del progetto LIFE del Consorzio Parco Regionale della Valle del Lambro per la tutela e la salvaguardia ambientale dell'area ed un eventuale progetto di un canale congiungente i due laghi inciderebbe negativamente sull'ecosistema provocando anche nel lago di Alserio le forti escursioni di livello che, in caso di importanti accadimenti di piena, subisce il lago di Pusiano.

Nell'assetto di progetto si è ipotizzata una gestione del lago di Pusiano, in modo tale che durante l'evento di piena si raggiunga il massimo livello d'invaso, pari a circa 262,00 m s.m. e che l'uscita dal lago sia attribuita soltanto al ramo naturale, in quanto il Cavo di Diotti durante la fase d'invaso è stato ipotizzato chiuso, al fine di ridurre al massimo la portata in uscita dal sistema. Tale livello d'invaso è in grado di convogliare nel Lambro una portata al colmo pari a 16 m<sup>3</sup>/s, a fronte della portata duecentennale nello stato attuale di 48 m<sup>3</sup>/s (corrispondenti ad un livello idrico nel lago di 263,40 m s.m.). Pertanto si ha una cospicua riduzione delle portate al colmo in uscita dal lago di Pusiano. Tale effetto di invasore nel lago è tale da accentuare ancora di più i noti effetti di laminazione del lago già trattati nella relazione idraulica di stato di fatto. Questo fatto fa sì che i volumi che transitano nel Lambro siano molto elevati, precludendo quindi la reale efficacia di interventi di laminazione diretta delle portate del Lambro, soprattutto per il fatto che risulta quasi impossibile reperire lungo il corso del fiume superfici e volumi di entità tale da poter laminare onde con volumetrie elevate, se non mediante la realizzazione di vere e proprie opere ingegneristiche di notevole impatto, ritenute da noi incompatibili, in grado di mettere a disposizione volumi adeguati in base alle superfici disponibili sul territorio.



Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra l'uscita del lago di Pusiano e la confluenza con la Bevera di Molteno.

**Tabella 1: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 132.19	21249	uscita Lago di Pusiano	50 <sub>(48)</sub>	15 <sub>(16)</sub>
LA 132.11	22545	Ponte S.P. 41 - Merone	60 <sub>(60)</sub>	20 <sub>(22)</sub>
LA 131	24868	a monte confluenza Bevera Molteno	75 <sub>(74)</sub>	45 <sub>(45)</sub>

Si mette in evidenza che l'intervento di regolazione del lago è attuabile solo attraverso la predisposizione di un opportuno modello di previsione e controllo delle piene supportato da un'adeguata rete di monitoraggio pluvio-idrometrico. Tale modello è in via di definizione per conto della Regione Lombardia, la quale ha affidato allo Studio Paoletti la *“Progettazione del sistema di monitoraggio del fiume Lambro finalizzato alla gestione del Lago di Pusiano e all'allertamento delle aree a rischio di esondazione”*.

### 3.2.2 Casse di espansione

Partendo dalla necessità di ridurre le portate nel Lambro e vista la ridotta possibilità di laminare le portate direttamente nell'alveo principale a causa delle elevata volumetria dell'onda di piena, è stata presa in considerazione la possibilità di ridurre gli afflussi naturali esterni attraverso opere di laminazione localizzate lungo i principali affluenti. In particolare sono state previsti interventi di laminazione lungo i seguenti corsi d'acqua:

- torrente Gandaloglio;
- torrente Bevera di Molteno;
- torrente Bevera di Renate.

### ***Laminazione del torrente Gandaloglio***

L'intervento di laminazione, previsto nel *Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*, di cui oggi si dispone di progettazione esecutiva, è costituito da un'area ad allagamento controllato compresa tra il torrente Gandaloglio e il Fosso del Pascolo, a monte del comune di Molteno, atta a circoscrivere i fenomeni di esondazione in un'area definita e controllabile. Tale area è munita di opere puntuali che ne consentono una corretta gestione in occasione degli eventi di piena più gravosi.

L'intervento comprende essenzialmente:

- la realizzazione di una soglia sfiorante sul torrente Gandaloglio in Comune di Oggiono e Sirone, in destra idraulica;
- trasversalmente all'alveo del torrente Gandaloglio, in corrispondenza della sezione terminale della soglia sfiorante sono posizionate due paratoie atte a bloccare completamente il deflusso delle portate verso valle;
- la realizzazione di un canale scolmatore che mette in comunicazione la vasca di dissipazione a valle della soglia sfiorante con l'area ad allagamento controllato;
- risagomatura dell'alveo del Fosso del Pascolo all'interno dell'area ad allagamento controllato ed a valle della sezione di controllo fino alla confluenza con la Bevera;
- la realizzazione di una sezione di controllo per la modulazione delle portate all'interno del Fosso del Pascolo e, successivamente, della Bevera.

In pratica tale opera di laminazione permette di ridurre l'apporto del Gandaloglio e del Fosso del Pascolo dagli attuali 22 m<sup>3</sup>/s complessivi a circa 10 m<sup>3</sup>/s in ingresso alla Bevera di Molteno, riducendo quindi la portata della Bevera a valle del centro abitato di Molteno dagli attuali 48 m<sup>3</sup>/s a 34 m<sup>3</sup>/s nell'assetto di progetto.

Nel progetto esecutivo in fase di appalto non è prevista l'opera di regolazione finale.

### ***Laminazione delle Bevera di Molteno a Merone***

La laminazione sul torrente Bevera di Molteno è prevista poco a monte della confluenza in Lambro. La vasca in oggetto, prevista nel *Progetto Preliminare di sistemazione del fiume Lambro a monte di Villasanta*, è formata da un volume complessivo di 1.400.000 m<sup>3</sup> ricavabili nella sede dell'attuale cava in località Breno della Torre di Costa Masnaga, gestita dalla Holcim S.p.A.. Un primo lotto, di 60.000 m<sup>3</sup> è già stato realizzato, ed è stato inserito nel modello idrologico-idraulico dello stato attuale. Un secondo lotto, di cui si dispone già del finanziamento e di cui dovrà essere svolta la progettazione, prevede una volumetria pari a ulteriori 200.000 m<sup>3</sup>, ricavabili per scavo della porzione di terreno compresa tra gli alvei del fiume Lambro e del torrente Bevera in comune di Costa Masnaga. L'opera di sbarramento e regolazione dell'intero sistema, con bocca di uscita tarata per un massimo di 22.5 m<sup>3</sup>/s, è già stata realizzata congiuntamente nel I lotto.

Nella configurazione finale la vasca assicura una laminazione tale per cui la portata al colmo a monte di tale opera, pari a 57 m<sup>3</sup>/s allo stato attuale e pari a 45 m<sup>3</sup>/s se si considera

la laminazione ottenuta con l'area di esondazione controllata sul torrente Gandaloglio, viene ridotta a 22.5 m<sup>3</sup>/s, per eventi legati a tempo di ritorno duecentennale.

Il lotto di completamento potrà essere inserito nell'ambito del Progetto di recupero del sito di cava, già in possesso della Regione Lombardia, con costi di realizzazione notevolmente ridotti rispetto ai volumi invasabili (previsto per il 2010).

Sostanzialmente l'effetto combinato delle due laminazioni sul torrente Gandaloglio e sul torrente Bevera di Molteno porta l'afflusso globale del torrente Bevera dagli attuali 57 m<sup>3</sup>/s al colmo a valori prossimi a 22 m<sup>3</sup>/s, quindi con una riduzione del 60 %.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra la confluenza con la Bevera di Molteno e il ponte della S.S.342, a monte dell'area di espansione di Inverigo, descritta in seguito.

**Tabella 2: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 129.2	25528	confluenza Bevera Molteno	120 <sub>(122)</sub>	55 <sub>(55)</sub>
LA 127	27039	Ponte via Dante - Lambrugo	120 <sub>(119)</sub>	65 <sub>(63)</sub>
LA 124.3	28882	Ponte S.S. 342 (Briantea)	115 <sub>(116)</sub>	65 <sub>(64)</sub>

### **Area di espansione di Inverigo**

Tale area di espansione, localizzata nel comune di Inverigo e marginalmente anche nel comune di Nibionno, non si configura attraverso la realizzazione di una vera e propria cassa di espansione, ma consiste nella regimazione e salvaguardia ai fini idraulici dell'unica area di esondazione di rilievo attualmente esistente ai fini della laminazione lungo l'asta del fiume Lambro. Infatti la laminazione degli affluenti non avrebbe effetti positivi se non combinata con il progressivo controllo della portata defluente a valle della sezione LA120.1, posta a monte della confluenza della Bevera di Renate. In progetto pertanto è prevista la realizzazione di un'opera di controllo delle portate che, pur con i colmi in arrivo da monte minori per effetto della realizzazione delle vasche di Merone e Molteno, mantenga per l'evento duecentennale i medesimi livelli idrici provocando l'esondazione nelle aree non urbanizzate già oggi interessate dalla piena con volume di laminazione utile pari a 800.000 m<sup>3</sup>.

Per ottenere tale effetto, che come detto non crea ulteriori vincoli sul territorio rispetto a quelli già esistenti e anzi preserva l'unica area di laminazione esistente, l'opera di regolazione prevista dovrà limitare la portata defluente a valle dagli attuali 135 m<sup>3</sup>/s a 65 m<sup>3</sup>/s in occasione degli eventi di piena di progetto.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra il ponte della S.S.342 e la confluenza con il torrente

Bevera di Renate. Si sottolinea che all'interno di tale tratto è presente l'immissione del torrente Bevera di Veduggio.

**Tabella 3: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 124.3	28882	Ponte S.S. 342 (Briantea)	115 <sub>(116)</sub>	65 <sub>(64)</sub>
LA 120.1	33107	Ponte via Camisasca - Inverigo	135 <sub>(133)</sub>	65 <sub>(66)</sub>
LA 119	33828	A monte confluenza Bevera Renate	135 <sub>(134)</sub>	65 <sub>(67)</sub>

### ***Cassa di espansione a Briosco sul torrente Bevera di Renate***

La cassa di espansione sul torrente Bevera di Renate, di cui si dispone di progetto esecutivo, è localizzata poco a monte della confluenza in Lambro in frazione Fornaci.

La cassa d'espansione in progetto si compone di due comparti con funzionamento sequenziale (invaso di valle e quindi di monte) comandato dalle paratoie motorizzate che parzializzano progressivamente le luci di fondo sulla base delle letture di livello e portata nella sezione di controllo del ponte di via XI Febbraio.

Le opere in progetto interessano un'area di circa 8 ha compresa tra la quota 235,00 m s.m. e la quota 242,0 m s.m. circa allo sbocco della valle del torrente Bevera di Renate nella valle del fiume Lambro. Come anticipato la laminazione è ottenuta con due settori distinti denominati settore "Fornaci" e settore "Monbello".

La vasca prevede un volume complessivo di 500.000 m<sup>3</sup>, in grado di ridurre la portata al colmo per eventi duecentennali in ingresso nel Lambro, dagli attuali 33 m<sup>3</sup>/s per eventi con tempo di ritorno 200 anni, a 16 m<sup>3</sup>/s nell'assetto di progetto.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra la confluenza con il torrente Bevera di Renate e il ponte di S. Giorgio a Villasanta. Si sottolinea che tra tali sezioni non sono previsti ulteriori interventi di laminazione delle portate, ma solo interventi locali di arginatura e adeguamento di manufatti interferenti (ponti e traverse) che generano allagamenti incompatibili, senza tuttavia modificare ulteriormente l'onda di piena.

**Tabella 4: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 119	33828	A monte confluenza Bevera Renate	135 <sub>(134)</sub>	65 <sub>(67)</sub>
LA 117.1	35620	Ponte S.P. 42	150 <sub>(150)</sub>	85 <sub>(85)</sub>
LA 111	39910	Ponte via Garibaldi - Verano Brianza	155 <sub>(155)</sub>	90 <sub>(91)</sub>
LA 109	41669	Ponte via Fiume - Carate Brianza	155 <sub>(156)</sub>	95 <sub>(93)</sub>
LA106.3	43780	Ponte strada comunale - Triuggio	155 <sub>(157)</sub>	95 <sub>(95)</sub>

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 104.1	46085	Ponte ferroviario linea Monza - Molteno	165 <sub>(164)</sub>	105 <sub>(107)</sub>
LA 102	48740	Ponte vecchio - Biassono	175 <sub>(174)</sub>	125 <sub>(126)</sub>
LA 100.2	51206	Ponte S. Giorgio - Villasanta	190 <sub>(189)</sub>	140 <sub>(141)</sub>

Si sottolinea come la sommatoria degli effetti delle opere volte alla riduzione della portata in alveo (regolazione del lago di Pusiano e le sopracitate casse di laminazione) comportano, alla sezione di chiusura del tratto di alveo naturale, una riduzione della portata al colmo da 190 m<sup>3</sup>/s a 140 m<sup>3</sup>/s (riduzione del 25%). La riduzione verso valle della portata è influenzata dal fatto che nello stato attuale sono presenti tra Merone e Villasanta zone di allagamento non compatibili con l'assetto territoriale, che contribuiscono a ridurre la portata in alveo, le quali, ovviamente, non sono più presenti nell'assetto di progetto. Pertanto gli effetti di riduzione di portata conseguenti ad allagamenti in aree urbane non sussistono più nell'assetto di progetto. La reale riduzione sarebbe pertanto da ricavare paragonando il valore attuale, depurato degli effetti positivi di allagamento in aree urbane, con il valore di progetto.

### 3.2.3 Bypass di Monza

Il tratto urbano di Monza, come più volte specificato, risulta compatibile con portate massime di circa 80 ÷ 90 m<sup>3</sup>/s. Dai valori di portata della tabella 3.4 si evidenzia come la portata al colmo per T=200 a monte di Monza, passa per effetto degli interventi di laminazione previsti a monte nel bacino naturale da 190 m<sup>3</sup>/s a 140 m<sup>3</sup>/s, per cui anche la portata in arrivo a Monza nell'assetto di progetto non assume valori prossimi alla compatibilità dell'alveo (Lambro e Lambretto). Si ricorda inoltre che i valori di compatibilità precedentemente riportati sono in condizioni di incipiente esondazione con molti manufatti di attraversamento in pressione, pertanto lontano da condizioni di sicurezza per l'abitato circostante. Come evidenziato non risulta possibile laminare ulteriormente le portate provenienti dal bacino naturale con interventi ambientalmente sostenibili dal territorio. In assetto di progetto, l'onda di piena a monte di Monza presenta una volumetria in eccesso rispetto alla compatibilità idraulica (assunta pari a circa 60 m<sup>3</sup>/s per tenere in conto un lieve margine rispetto allo stato di incipiente esondazione) pari a circa 4.000.000 m<sup>3</sup> (nello stato attuale tale volume è pari a 6.000.000 m<sup>3</sup>). Tale volume è nettamente superiore al volume invasabile nel Parco di Monza, pari a 500.000 m<sup>3</sup>, che costituisce l'unica area naturale tra il bacino naturale e l'attraversamento di Monza.

Da tali considerazioni e dal pregio assunto dai manufatti presenti in alveo, emerge che la soluzione, pressoché obbligata, risulta essere la realizzazione di un canale diversivo in grado di convogliare oltre il centro abitato di Monza le portate in eccesso, conflueno nuovamente nel Lambro a valle dell'abitato stesso, in zone compatibili con la portata di piena in assetto di progetto.

L'opera da realizzare, data la non rilevante variabilità del costo di costruzione in relazione alla larghezza del manufatto e la forte esposizione della città alle piene (quattro allagamenti disastrosi 1947, 1951, 1976, 2002 in 50 anni), dovrebbe essere dimensionata per una portata di circa 120 ÷ 130 m<sup>3</sup>/s, al fine di creare nel tratto in attraversamento a

Monza (lungo il quale sono presenti degli scaricatori di piena delle reti di drenaggio urbano che incrementano ulteriormente la portata in alveo) un livello di compatibilità d'alveo che permetta di rispettare in corrispondenza dei manufatti di attraversamento il franco di sicurezza.

Tenuto conto poi di quanto affermato nel paragrafo relativo alla sicurezza connessa agli interventi (paragrafo 1.5), delle continue alterazioni del bacino in termini di apporti idrici, della possibilità che gli interventi previsti a monte non vengano realizzati completamente, o che i loro effetti in corrispondenza di eventi reali non abbiano la stessa efficacia valutata nel presente assetto di progetto basato su precipitazioni sintetiche, si suggerisce di progettare tale diversivo per portate superiori rispetto a quelle fornite dal modello idrologico-idraulico dell'assetto di progetto, all'incirca pari a  $180 \div 200 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Come risulta dalla relazione descrittiva dell'*Attività 5.3.1-5.4.1 – Valutazione delle condizioni attuali di sicurezza del sistema difensivo e dell'assetto di progetto* e dalla annessa *Cartografia dell'assetto di progetto*, il tracciato del diversivo di Monza individuato ai fini dell'analisi idraulica è il seguente:

- opera di presa localizzata all'interno del Parco di Monza, appena a valle del ponte di via Caviglia;
- sviluppo in direzione sud-est, attraversando parte del territorio del comune di Villasanta, attualmente non urbanizzato, sottopassando poi la linea ferroviaria Monza-Molteno ed immettendosi, in località Cascina Bernardo, al di sotto della tangenziale di Monza;
- in corrispondenza della tangenziale, prosecuzione del tracciato prima in direzione sud e successivamente in direzione sud-ovest, fino a giungere a monte dell'impianto di depurazione di Monza;
- percorrenza delle zone agricole sottostanti in direzione sud, fino a sottopassare l'autostrada A4 (questo perché il ponte dell'A4 sul Lambro in corrispondenza dell'impianto non risulta compatibile con le portate in alveo, neppure nell'assetto di progetto);
- una volta sottopassata l'autostrada, percorso parallelo a quest'ultima in direzione sud-est fino ad intersecare la roggia Molinara e seguirla parallelamente in direzione sud;
- l'immissione del diversivo nel Lambro è previsto appena a valle del ponte di via San Maurizio in comune di Cologno Monzese.

Per il suddetto tracciato le caratteristiche geometriche del diversivo assunte per la modellazione idraulica sono le seguenti:

- lunghezza: 8.5 km;
- quota di fondo a valle dell'opera di presa: 161,00 m s.m.;
- quota di fondo a monte della restituzione: 141,00 m s.m.;

- pendenza media: 0,2 %;
- dimensioni della sezione rettangolare: 12 x 4 m.

Tale ipotesi di tracciato, che nelle successive fasi di progettazione potrà essere variata anche sensibilmente in relazione alle esigenze urbanistiche locali, è scaturita dalle seguenti pre-verifiche di fattibilità:

- minor altezza del terrazzo morenico in sinistra Lambro rispetto all'analogo in destra;
- possibilità di utilizzo di una zona (compresa tra le corsie della tangenziale) ove il cantiere, fatti salvi gli attraversamenti agli incroci, non provocasse impatti sulla viabilità;
- presenza lungo il tracciato di vincoli (es. collettore fognario, canale Villoresi, sottoservizi, ecc.) infrastrutturali non incompatibili;
- possibilità di realizzazione nella zona del parco mediante tratte in sotterraneo con tecniche che preservino zone di particolare pregio;
- possibilità di ricoprimento del tracciato e pertanto di fruizione della superficie occupata per altre infrastrutture;
- minima necessità di acquisizione di aree private;
- possibilità di rapido avanzamento del cantiere in quanto lo stesso risulta, per lunghi tratti, caratterizzato da lavorazioni ripetitive (formazione di diaframmi spondali e scavo in sezione protetta) di modesta complessità.

Come detto, in fase progettuale potranno essere valutate sia alternative di tracciato, sia alternative di tecnica costruttiva.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra il ponte di S. Giorgio a Villasanta e il ponte di San Maurizio a Cologno Monzese. Si sottolinea che tra tali sezioni sono presenti cospicui contributi legati alle reti di drenaggio urbano

**Tabella 5: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA 100.2	51206	Ponte S. Giorgio - Villasanta	190 <sub>(189)</sub>	140 <sub>(141)</sub>
LA97.3	53802	Ponte ad arco via Cavriga - Villasanta	195 <sub>(194)</sub>	140 <sub>(139)</sub>
LA96.1	55162	Ponte ad arco via Cantore - Monza	200 <sub>(201)</sub>	15+ <u>125</u> <sub>(14+125)</sub>
LA94.4	56510	Ponte FFSS - Monza	110+ <b>100</b> <sub>(110+99)</sub>	15+ <b>10</b> + <u>125</u> <sub>(16+9+125)</sub>
LA93.3	57645	Ponte canale Villorese	215 <sub>(216)</sub>	25+ <u>125</u> <sub>(24+125)</sub>
LA91	60397	Ponte A4	295 <sub>(295)</sub>	75+ <u>125</u> <sub>(75+125)</sub>
LA90.1	61279	Ponte S. Maurizio - Cologno Monzese	295 <sub>(295)</sub>	75+ <u>125</u> <sub>(75+125)</sub>

I valori in **grassetto** si riferiscono alle portate nel Lambretto e quelli sottolineati si riferiscono alle portate nel diversivo.

### 3.2.4 Opere di protezione locale a Brugherio e a Cologno Monzese

In corrispondenza del tratto di alveo a valle del ponte dell'autostrada A4, parte in comune di Brugherio e parte in comune di Cologno Monzese, si hanno, in sinistra idraulica, tratti localizzati di insufficienza spondale sia nell'assetto di progetto che nello stato attuale, in grado di generare vaste aree di allagamento soprattutto nel territorio del comune di Cologno Monzese.

In tale tratto pertanto sono previsti interventi locali di protezione, costituiti da nuovi rilevati arginali e dall'adeguamento di alcuni manufatti di attraversamento interferenti. In particolare si prevede:

- la realizzazione di nuovi argini tra le sezioni LA91 e LA89, a valle della sezione LA88.2 e tra le sezioni LA86.1 e LA86, in sponda sinistra;
- l'adeguamento dei manufatti di attraversamento ubicati in corrispondenza delle sezioni LA90.1 (via S. Maurizio al Lambro) e LA84.1 (via Di Vittorio).

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra il ponte di San Maurizio a Cologno Monzese e il raccordo della tangenziale di via Palmanova a Milano.



**Tabella 6: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA90.1	61279	Ponte S. Maurizio - Cologno Monzese	295 <sub>(295)</sub>	185 <sub>(186)</sub>
LA88.1.1	62638	Ponte Tangenziale Nord	330 <sub>(328)</sub>	190 <sub>(189)</sub>
LA84.1	66546	Ponte Di Vittorio - Sesto S. Giovanni	310 <sub>(308)</sub>	190 <sub>(188)</sub>
LA82.1.2	67560	Ponte canale Naviglio Martesana	325 <sub>(323)</sub>	190 <sub>(188)</sub>
LA81.5	68234	Raccordo Tangenziale via Palmanova	295 <sub>(295)</sub>	185 <sub>(186)</sub>

### 3.2.5 Bypass di Milano

Il tratto urbano di Milano, come più volte specificato, risulta compatibile con portate massime di circa  $120 \div 150 \text{ m}^3/\text{s}$ . Dai valori di portata della tabella 3.6 si evidenzia come la portata al colmo per  $T=200$  a monte di Milano, passa per effetto degli interventi di monte da  $295 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $185 \text{ m}^3/\text{s}$ , per cui la portata in arrivo a Milano nell'assetto di progetto non assume comunque valori prossimi alla compatibilità dell'alveo. Si ricorda inoltre che i valori di compatibilità precedentemente riportati sono in condizioni di incipiente esondazione con molti manufatti di attraversamento in pressione, pertanto lontano da condizioni di sicurezza per l'abitato circostante. Come visto non risulta possibile laminare ulteriormente le portate provenienti dal bacino di monte, inoltre l'onda di piena nell'assetto di progetto a monte di Milano ha una volumetria in eccesso rispetto alla compatibilità idraulica (assunta pari a circa  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  per tenere in conto un lieve margine rispetto allo stato di incipiente esondazione) pari a circa  $3.000.000 \text{ m}^3$  (nello stato attuale tale volume è pari a  $14.000.000 \text{ m}^3$ ). Tale volume è nettamente superiore al volume invasabile nel Parco Lambro, pari a  $700.000 \text{ m}^3$ , che costituisce l'unica area naturale a monte di Milano.

Da tali considerazioni emerge che la soluzione, pressoché obbligata, risulta essere, come nel caso di Monza, la realizzazione di un canale diversivo in grado di convogliare al di fuori della zona più critica (da via Feltre alla linea ferroviaria Milano-Treviglio) le portate in eccesso, confluendo nuovamente nel Lambro in zone compatibili con la portata di piena in assetto di progetto.

L'opera da realizzare, data la modesta variabilità del costo di costruzione in relazione alla larghezza del manufatto e l'elevato rischio di esondazione della zona in oggetto, dovrebbe essere dimensionata per una portata di circa  $90 \div 100 \text{ m}^3/\text{s}$ , al fine di creare nel tratto in attraversamento a Milano (lungo il quale sono presenti degli scaricatori di piena delle reti di drenaggio urbano che incrementano ulteriormente la portata in alveo) un livello di compatibilità d'alveo che permetta di rispettare il franco di sicurezza rispetto alle sommità spondali.

Tenuto conto poi di quanto affermato nel paragrafo relativo alla sicurezza connessa agli interventi (paragrafo 1.5), delle continue alterazioni del bacino in termini di apporti idrici, della possibilità che gli interventi previsti a monte non vengano realizzati completamente, o che i loro effetti in corrispondenza di eventi reali non abbiano la stessa efficacia valutata

nel presente assetto di progetto basato su precipitazioni sintetiche, si suggerisce di progettare tale diversivo per portate superiori rispetto a quelle fornite dal modello idrologico-idraulico dell'assetto di progetto, all'incirca pari a  $130 \div 150 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Come risulta dalla relazione descrittiva dell'*Attività 5.3.1-5.4.1 – Valutazione delle condizioni attuali di sicurezza del sistema difensivo e dell'assetto di progetto* e dalla annessa *Cartografia dell'assetto di progetto*, il tracciato del diversivo di Milano individuato in prima ipotesi ai fini dell'analisi idraulica è il seguente:

- opera di presa localizzata all'interno del Parco Lambro, a monte di via Feltre;
- sviluppo in direzione est, attraversando parte del Parco Lambro, sottopassando poi la via Feltre portandosi ad est dell'allineamento della tangenziale est;
- una volta giunto in corrispondenza del parcheggio del cimitero di Lambrate, il tracciato prosegue in direzione sud costeggiando la tangenziale est, sottopassando via Rombon e correndo all'interno dell'ex area Innocenti;
- una volta sottopassata via Rubattino il diversivo passa all'interno del parcheggio del "Cesi" e si immette nel Lambro a monte dell'attraversamento ferroviario della linea Milano – Treviglio.

Per il suddetto tracciato le caratteristiche geometriche del diversivo assunte per la modellazione idraulica sono le seguenti:

- lunghezza: 2.8 km;
- quota di fondo a valle dell'opera di presa: 115,00 m s.m.;
- quota di fondo a monte della restituzione: 110,00 m s.m.;
- pendenza media: 0,18 %;
- dimensioni della sezione rettangolare: 15 x 3 m.

Come per l'opera prevista a Monza, in fase progettuale potranno essere apportate modifiche al tracciato, la cui fattibilità risulta tuttavia legata ad un non eccessivo allungamento dell'attuale percorso, già caratterizzato da pendenza inferiore al 0,2 %.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra il Raccordo della tangenziale di via Palmanova a Milano e il ponte della linea ferroviaria Milano-Treviglio.

**Tabella 7: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA81.5	68234	Raccordo Tangenziale via Palmanova	325 <sub>(323)</sub>	190 <sub>(188)</sub>
LA78	71253	Ponte via Feltre - Milano	315 <sub>(314)</sub>	100+90 <sub>(99+88)</sub>
LA77.2	71786	Ponte via Rombon - Milano	315 <sub>(316)</sub>	110+90 <sub>(107+88)</sub>
LA75	72925	Ponte via Rubattino - Milano	250 <sub>(251)</sub>	120+90 <sub>(119+88)</sub>
LA73.4	73516	Ponte FF.SS. - Milano	210 <sub>(210)</sub>	205 <sub>(206)</sub>

I valori in sottolineati si riferiscono alle portate nel diversivo.

Si evidenzia come alla fine di tale tratto le portate allo stato attuale e nell'assetto di progetto siano praticamente coincidenti. Ciò significa che le opere di laminazione previste in progetto riescono di fatto a riprodurre in maniera controllata gli effetti di laminazione dei vasti allagamenti presenti allo stato attuale e l'influenza dei manufatti interferenti.

### 3.2.6 Riprofilatura dell'alveo a Milano da Ortica a Bolgiano

Il tratto a valle dell'attraversamento ferroviario della linea Milano-Treviglio risulta essere anch'esso incompatibile nei confronti della portata nell'assetto di progetto. La portata compatibile nel tratto è pari a circa a  $90 \div 100 \text{ m}^3/\text{s}$  a fronte di portate al colmo in ingresso al tratto pari a  $205 \text{ m}^3/\text{s}$ . Come visto in precedenza non risulta possibile laminare ulteriormente le portate provenienti da monte per l'assenza di estese aree da destinare a tale scopo, pertanto occorre aumentare la capacità idraulica del tratto. Tale tratto non risulta essere circondato da insediamenti continui come i tratti precedenti, pertanto è possibile realizzare un intervento di ricalibratura d'alveo che permetta di aumentare la capacità di deflusso fino a valori compatibili con la portata transitante nell'assetto di progetto.

Tale ricalibratura d'alveo prevede essenzialmente le seguenti opere:

- raddoppio della larghezza dell'alveo dagli attuali 20 m a circa 40 m nel tratto compreso tra la sezione LA73 e LA67 (in corrispondenza dei ponti alle sezioni LA72 LA71.1, LA70.1, LA70, tale raddoppio si configura nella realizzazione di nuovi tratti d'alveo che aggirano i manufatti esistenti);
- abbassamento delle traverse alle sezioni LA73.1, LA72.2, LA70.2, LA69;
- adeguamento dei manufatti di attraversamento in corrispondenza delle sezioni LA72.4 e LA72.3;
- realizzazione di arginature tra le sezioni LA67 e LA65.2 lungo entrambe le sponde.

Nella tabella successiva vengono confrontate le portate nello stato attuale e nell'assetto di progetto, nel tratto compreso tra il ponte della linea ferroviaria Milano-Treviglio e la confluenza con il Deviatore Redefossi.

**Tabella 8: Confronto fra le portate e i volumi tra lo stato attuale e l'assetto di progetto (tra parentesi è riportato il valore fornito dal modello idrologico-idraulico)**

Sezione	Progressiva	Descrizione	Portata idraulica stato attuale (T=200)	Portata idraulica assetto progetto (T=200)
LA73.4	73516	Ponte FF.SS. - Milano	210 <sub>(210)</sub>	205 <sub>(206)</sub>
LA72.4	74820	Ponte via Forlanini - Milano	205 <sub>(206)</sub>	205 <sub>(206)</sub>
LA72	75532	Ponte Monluè - Milano	205 <sub>(206)</sub>	205 <sub>(207)</sub>
LA70	77615	Ponte via Vittorini - Milano	205 <sub>(205)</sub>	205 <sub>(206)</sub>
LA67	80176	Traversa di Bolgiano - Milano	210 <sub>(211)</sub>	210 <sub>(211)</sub>
LA65.2	81162	Ponte S.S. 415	210 <sub>(211)</sub>	210 <sub>(211)</sub>
LA60	85066	Traversa a monte - Deviatore Redefossi	215 <sub>(216)</sub>	230 <sub>(230)</sub>

Dai valori riportati in tabella 8 si evidenzia come in tale tratto le portate allo stato attuale e nell'assetto di progetto siano praticamente coincidenti, come già commentato al punto precedente.

### 3.2.7 Riduzione delle portate scaricate dalle reti di drenaggio urbano

Per porre in sicurezza le aree critiche lungo il bacino è necessario, oltre a tutti gli interventi sopracitati, la riduzione delle portate scaricate dai terminali delle reti di drenaggio urbano lungo l'intero corso del Lambro da Villasanta fino alla confluenza del Deviatore Redefossi. Tali riduzioni possono essere ottenute mediante opere laminazioni urbane previste a carico di ciascun comune in relazione agli apporti attuali ed all'obiettivo di riduzione al fine di evitare il progressivo aumento delle portate recapitate nel Lambro e quindi il vanificarsi nel tempo degli interventi previsti nel presente studio. Cardine infatti del sistema è il controllo dell'evoluzione degli apporti al fiume, al fine di evitare nei prossimi 30 anni quanto avvenuto dagli anni '60 ad oggi. Tale impostazione risulta peraltro aderente all'ottica con cui la Regione Lombardia si è mossa negli anni '80 e '90 con la redazione del Piano Regionale di Risanamento delle Acque. Tale Piano, al fine di tutelare i corsi d'acqua della Lombardia generalmente inadeguati a ricevere le portate meteoriche urbane ed extraurbane, definisce dei limiti allo scarico delle reti fognarie, in modo da contenere l'entità delle portate meteoriche scaricate entro valori compatibili con la capacità idraulica dei ricettori.

I limiti generali riportati nel P.R.R.A. sono i seguenti:

- 20 l/s per ogni ettaro impermeabile, relativamente alle aree di ampliamento e di espansione residenziali e industriali;
- 40 l/s per ogni ettaro impermeabile, relativamente alle aree già dotate di pubblica fognatura.

Nell'assetto di progetto del fiume Lambro si è applicato per tutti i comuni compresi nel tratto urbano (da Villasanta alla confluenza con il Deviatore Redefossi) il limite di 40 l/s per ogni ettaro impermeabile.

Nella tabella 9 vengono riportati i valori delle portate previste nell'assetto di progetto e le portate scaricate allo stato attuale, suddivise in base ai vari sottobacini secondo cui è stato impostato il modello idrologico utilizzato. Per ognuno dei sottobacini vengono riportati i comuni inclusi nei sottobacini stessi.

**Tabella 9: Portate limiti allo scarico delle reti di drenaggio urbano**

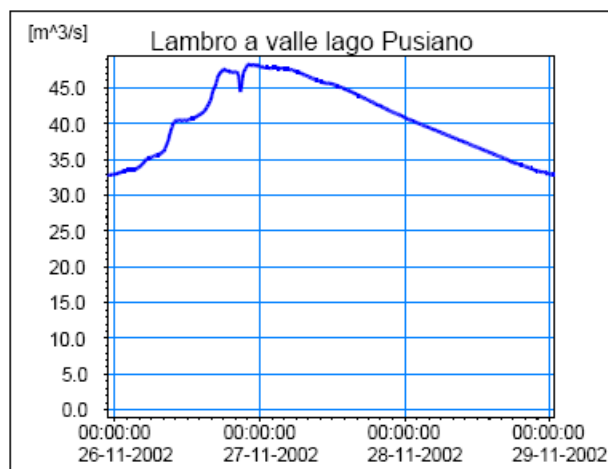
<i>Sezioni</i>	<i>Nome bacino</i>	<i>Q max PRRA [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Q max ATTUALE [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Comuni</i>
LA102.2	<b>LAM10</b>	5	10	Sovico, Macherio, Biassono
LA100.1.1	<b>LAM11</b>	4	9	Arcore, Villasanta
LA97.3	<b>LAM12</b>	3	4	Vedano al Lambro
LA97.2	<b>LAM13</b>	2	3	Villasanta
LA95.2.1	<b>LAM14A</b>	2	11	Monza
LA94.2	<b>LAM14B</b>	1	7	Monza
LA93.3	<b>LAM14C</b>	3	21	Monza
LA93.2	<b>LAM14D</b>	1	5	Monza
LA91.2.1	<b>LAM15</b>	8	11	Concorrezzo, Monza
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16A</b>	11	11	Seregno, Giussano, Carate Brianza e Verano Brianza
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16B</b>	4	6	Seregno
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16C</b>	9	15	Desio
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16D</b>	9	13	Lissone
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16E</b>	4	8	Nova milanese
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16F</b>	4	8	Muggiò
ALSI – 91.2.1	<b>LAM16G</b>	8	19	Monza
LA85	<b>LAM17</b>	10	70	Sesto S. Giovanni
LA85.5	<b>LAM18</b>	3	5	Brugherio, Cologno
LA78	<b>LAM19A</b>	4	14	Milano
LA77.1	<b>LAM19B</b>	4	12	Milano
LA74.1	<b>LAM19C</b>	6	23	Milano
LA69	<b>LAM19D</b>	5	19	Milano

<i>Sezioni</i>	<i>Nome bacino</i>	<i>Q max PRRA [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Q max ATTUALE [m<sup>3</sup>/s]</i>	<i>Comuni</i>
LA63.1	<b>LAM20</b>	24	24	Brugherio, Cologno Monzese, Cernusco sul Naviglio, Vimodrone, Pioltello, Segrate e Peschiera Borromeo

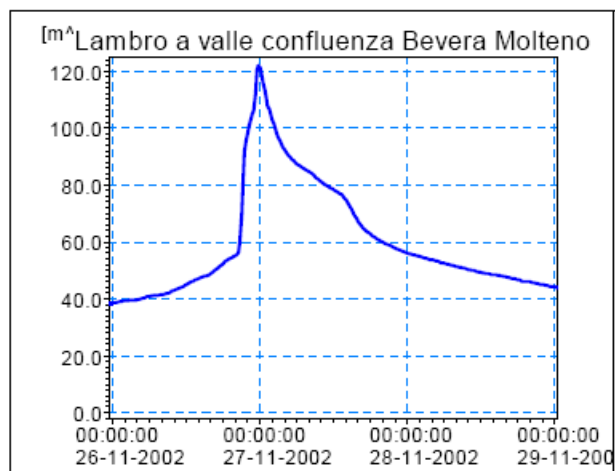
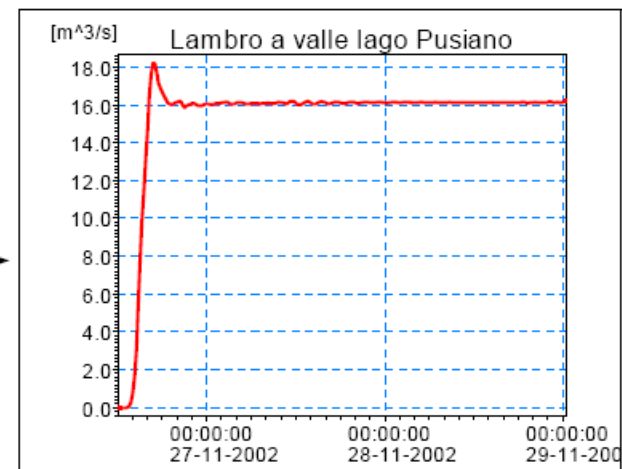
### 3.3 CONCLUSIONI

Nel presente paragrafo viene presentato il quadro complessivo degli effetti degli interventi di progetto, confrontando in alcune sezioni caratteristiche gli idrogrammi nello stato attuale e nell'assetto di progetto.

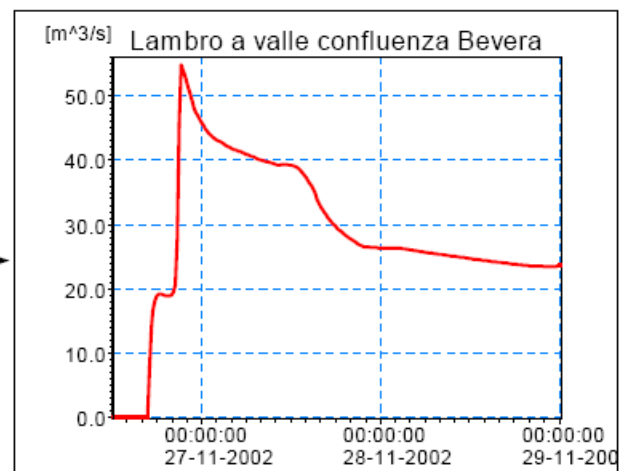
Nella seguente rappresentazione vengono inoltre localizzati gli interventi rispetto alle sezioni considerate, in modo da mettere in evidenza l'effetto di ogni intervento sull'idrogramma del Lambro.

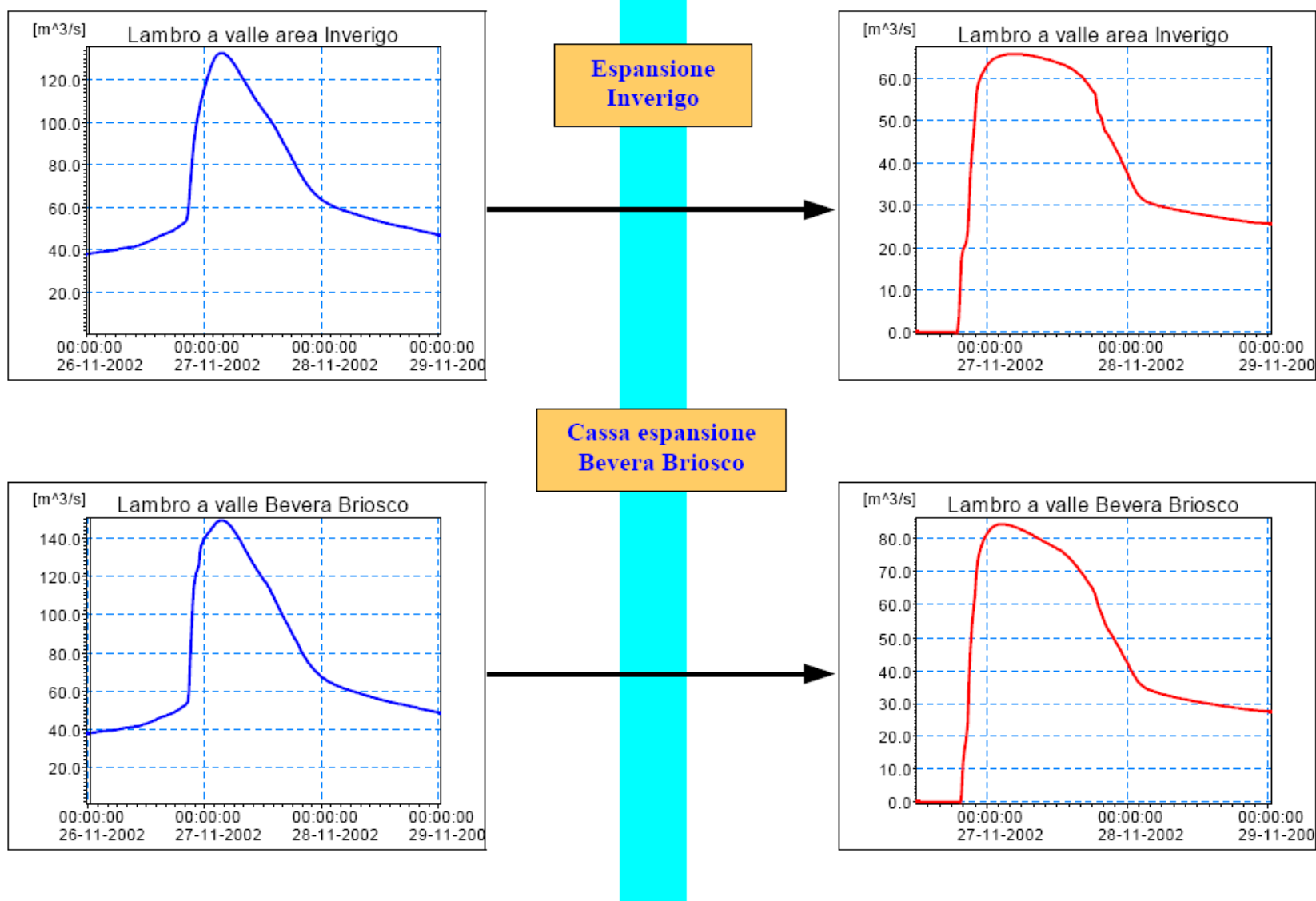


**Regolazione  
Lago di Pusiano**

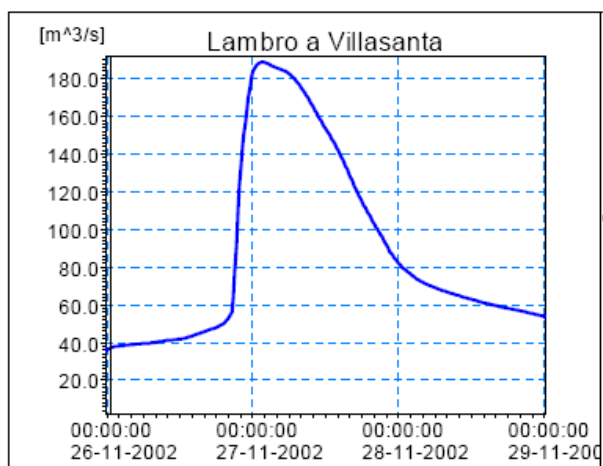


**Cassa espansione  
Bevera Molteno e  
Gandaloglio**

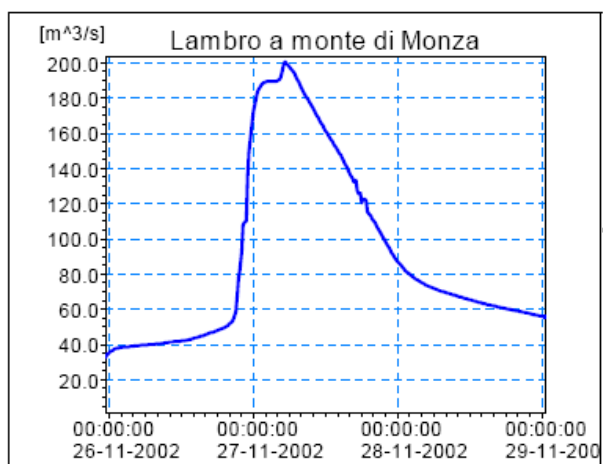
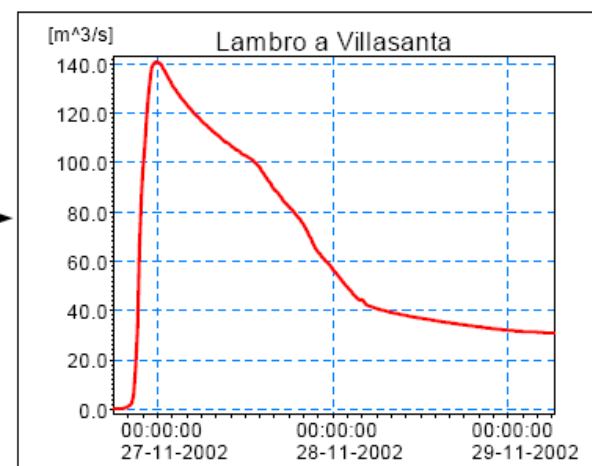




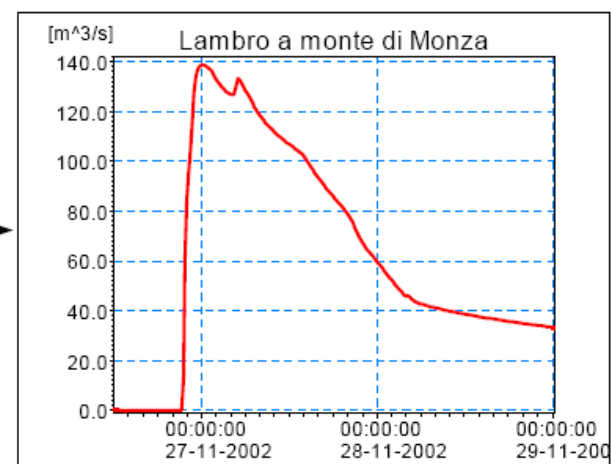


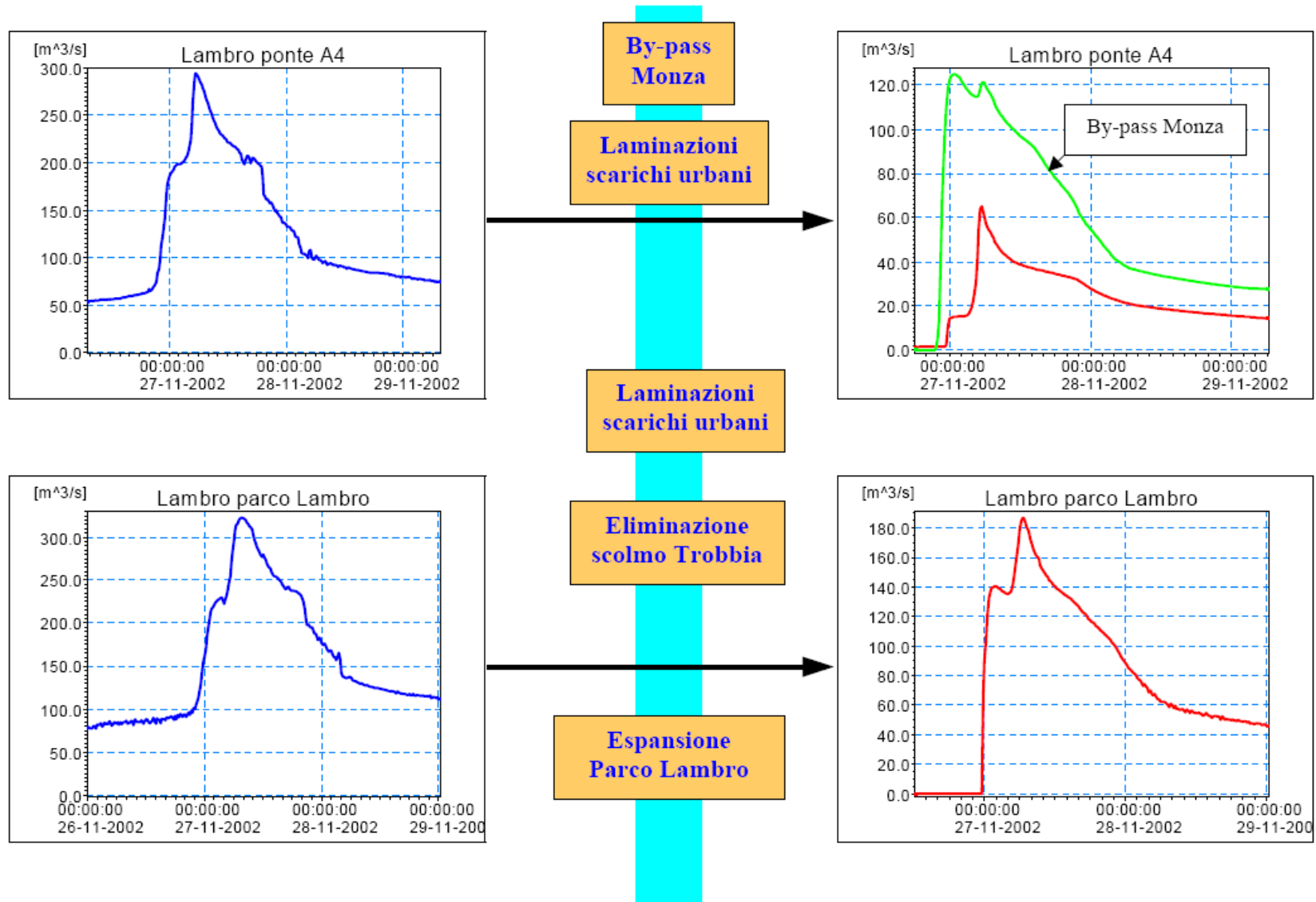


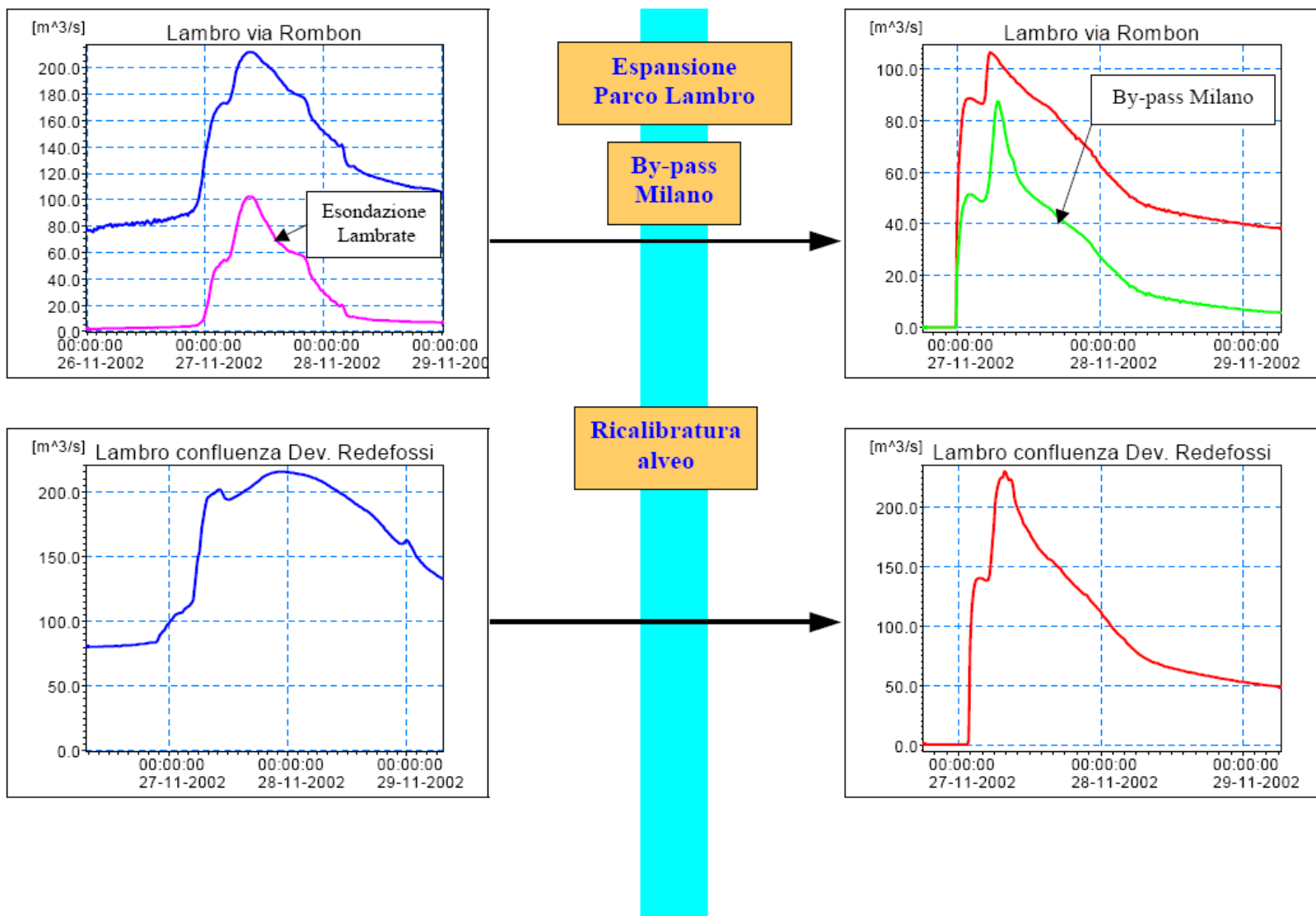
**Espansione  
Parco Monza**



**By-pass  
Monza**







### 3.4 EFFICACIA DEGLI INTERVENTI PROPOSTI CON RIFERIMENTO ALLA PIENA DEL NOVEMBRE 2002

Nel presente paragrafo viene verificata l'efficacia degli interventi proposti per l'assetto di progetto con riferimento all'evento di piena del novembre 2002. Si ricorda che tale evento, descritto sia nella relazione idrologica sia nella relazione idraulica, ha provocato esondazioni estese in alcuni tratti dell'asta del Lambro, in modo particolare nei comuni posti sulle rive del lago di Pusiano, a Carate Brianza, a Villasanta, nel centro storico di Monza, nel comune di Cologno Monzese e a Milano (Parco Lambro).

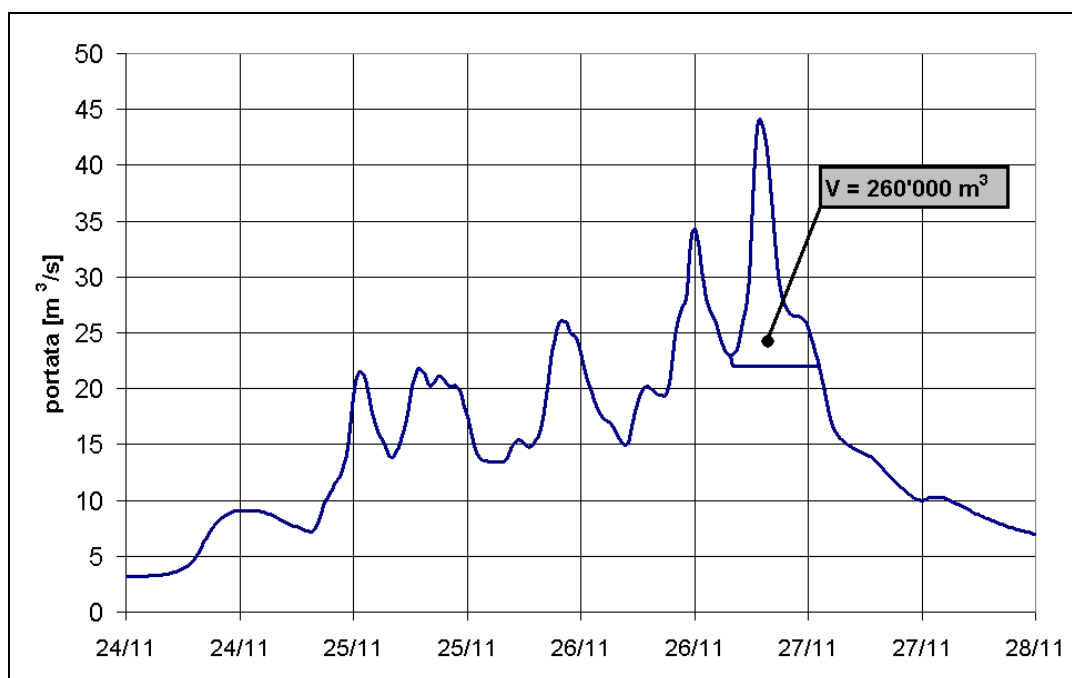
In base a quanto contenuto nelle relazioni suddette, si ricorda che l'evento del novembre 2002 è stato più gravoso per la parte alta del bacino del Lambro, con tempo di ritorno stimato pari a  $100 \div 200$  anni di tempo di ritorno a seconda delle zone, rispetto alla parte più meridionale, per cui le portate hanno assunto valori dell'ordine di 10 anni di tempo di ritorno.

Pertanto la verifica degli effetti degli interventi proposti su tale evento risulta di estremo interesse soprattutto per il bacino naturale fino a Villasanta e per il tratto di Monza.

In sintesi, gli effetti dei singoli eventi con riferimento all'evento del novembre 2002 può essere così schematizzata:

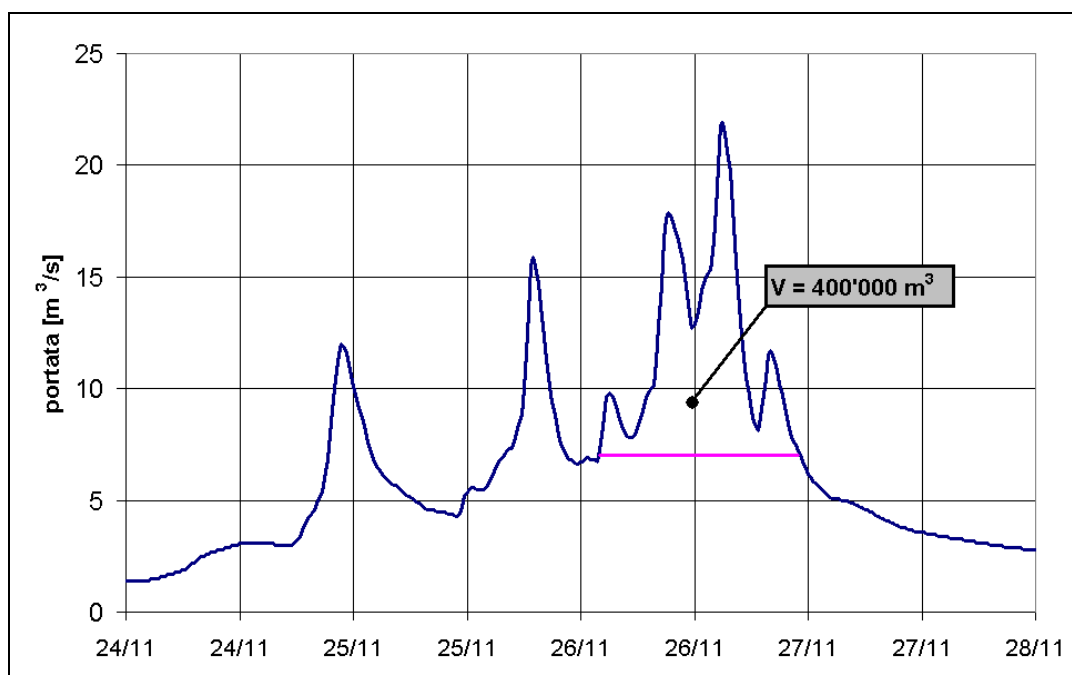
- con l'intervento di regolazione del lago di Pusiano la portata in ingresso al Lambro si sarebbe ridotta da 48 m<sup>3</sup>/s a circa 16 m<sup>3</sup>/s, portandosi a valori compatibili con la capacità di deflusso dell'alveo; tale intervento di regolazione avrebbe sicuramente evitato gli allagamenti a Pusiano e a Merone;
- attraverso l'effetto di laminazione delle casse di espansione lungo la Bevera di Molteno la portata in ingresso al Lambro si sarebbe ridotta da 42 m<sup>3</sup>/s a 22 m<sup>3</sup>/s; nel caso dell'evento pluviometrico di novembre 2002 il volume necessario per ottenere tale riduzione durante il picco dell'evento, verificatosi tra le ore 16:00 del giorno 26/11 e le ore 1:00 del 27/11, sarebbe stato di circa 260.000 m<sup>3</sup>, pari cioè alla volume dei primi due lotti della cassa. Considerando invece il periodo compreso tra le ore 10.00 del 26/11 e le ore 1:00 del 27/11, il volume necessario sarebbe stato pari a 400.000 m<sup>3</sup> (nella figura 1 è riportato l'idrogramma della Bevera in ingresso al Lambro durante l'evento di novembre 2002, nel quale si è messo in evidenza il volume dell'onda oltre i 22 m<sup>3</sup>/s per quanto riguarda il periodo tra le 16:00 del 26/11 e l'1:00 del 27/11);

**Figura 1: Idrogramma della Bevera di Molteno durante l'evento del novembre '02**



- attraverso la laminazione ottenibile con la cassa di espansione sulla Bevera di Briosco, la portata in ingresso al Lambro si sarebbe ridotta da  $22 \text{ m}^3/\text{s}$  a  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  (nella figura 2 è riportato l'idrogramma della Bevera di Briosco in ingresso al Lambro durante l'evento di novembre 2002, nel quale si è messo in evidenza che il volume dell'onda oltre i  $7 \text{ m}^3/\text{s}$  è contenibile nella cassa di espansione suddetta).

**Figura 2: Idrogramma della Bevera di Renate durante l'evento del novembre '02**



La riduzione complessiva della portata proveniente dal bacino naturale risulterebbe pari a circa  $65 \text{ m}^3/\text{s}$ , pertanto la portata al colmo a Villasanta si sarebbe ridotta da  $150 \text{ m}^3/\text{s}$  (cfr. relazione idraulica par. 3.3) a  $85 \text{ m}^3/\text{s}$ ; le portate in corrispondenza di alcuni nodi critici sarebbero quindi state le seguenti:

- a Monza:  $Q \sim 85 \text{ m}^3/\text{s}$ ;
- a Cologno Monzese (a valle ponte A4):  $Q \sim 130 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tali valori di portata si sarebbero quindi ridotti a valori compatibili con la capacità di deflusso nei diversi tratti (cfr. Parte I della presente relazione, tabella 1), pertanto se gli interventi previsti nell'assetto di progetto fossero stati presenti, l'evento di novembre 2002 non avrebbe dato luogo ai fenomeni di allagamento verificatisi.