

PROGETTAZIONE

SOGGETTI

MMI s.r.l.

Società d'ingegneria
IL DIRETTORE TECNICO
(dott. ing. Stefania Meucci)

PROGETTISTI

(dott. ing. Stefania Meucci)

NORD MILANO CONSULT s.r.l.

Società d'ingegneria
IL DIRETTORE TECNICO
(dott. arch. Michela Di Mento)

(dott. ing. Caterina Aliverti)

(dott. arch. Michela Di Mento)

REV.	DATA	DIS.	CONTR.	APPR.	DESCRIZIONI REVISIONI



AIPO
Agenzia Interregionale per il fiume Po



IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: dott. ing. Gaetano La Montagna

Oggetto **(MB-E-1) - Lavori di sistemazione idraulica lungo il fiume Lambro nel centro abitato di Monza in Comune di Monza (MB) - LOTTO 1**

Fase progettuale	Allegato n.	n. dis.
PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO	A-03-00	42726
		Scala /
Titolo	Data	
Relazione idrologica e idraulica	Novembre 2015	

RTP	mandante	mandataria
	 Modellistica e Monitoraggio Idrologico s.r.l. 21023 MILANO via Daniele Crespi, 7 tel. 02.58113831 - fax. 02.58113831 e-mail: Info@mmlidro.it	 NORD MILANO CONSULT s.r.l. Società di ingegneria 21052 BUSTO ARSIZIO (VA) via Bruno Raimondi, 5 tel. 0331.636702 - fax 0331.636713 e-mail: segreteria@nordmil.com

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	4
3	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	5
4	PORTATE DI PROGETTO	6
4.1	VALORI DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO	7
4.2	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA SECONDO IL PROGETTO FLORA DI ARPA LOMBARDIA	9
5	EVENTI DI PIENA DAL 1998 AL 2014	11
5.1	EVENTO DI PIENA DEL 2002.....	12
5.2	EVENTO DI PIENA DEL 2010.....	13
5.3	EVENTO DI PIENA DEL 2014.....	13
5.4	SCALA DELLE PORTATE A PEREGALLO.....	14
5.5	FREQUENZA DI RITORNO DEGLI ULTIMI EVENTI DI PIENA.....	15
6	ANALISI IDRAULICA DELLO STATO DI FATTO	17
6.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO IDRAULICO UTILIZZATO.....	17
6.2	DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE EMERSE DALLLO STUDIO	19
6.2.1	<i>Tratto tra Santuario delle Grazie e ponte di via D’Azeglio (sezioni LA97 – LA95.5)</i>	<i>19</i>
6.2.2	<i>Tratto tra via Aliprandi e via De Amicis.....</i>	<i>22</i>
6.2.3	<i>Tratto tra via C.Colombo e Via Santa Maddalena (sezioni LA95.1 – LA94.6)</i>	<i>22</i>
6.2.4	<i>Tratto tra confluenza Lambretto e via Ghilini</i>	<i>23</i>
6.2.5	<i>Tratto tra Via Ghilini e ponte Via Marconi (sezioni LA94.2.1 – LA91.2).....</i>	<i>24</i>
7	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI PROGETTO PROPOSTI.....	27
8	ANALISI IDRAULICA DELLO STATO DI PROGETTO	28
9	VERIFICHE DI STABILITÀ DELLE TURE	29
9.1	VERIFICHE NELLA CONFIGURAZIONE A	31
9.1.1	<i>Verifica allo scorrimento globale</i>	<i>31</i>
9.1.2	<i>Verifica allo scorrimento del blocco di sommità.....</i>	<i>31</i>
9.1.3	<i>Verifica al ribaltamento globale.....</i>	<i>31</i>
9.1.4	<i>Verifica al ribaltamento del blocco di sommità.....</i>	<i>32</i>
9.2	VERIFICHE NELLA CONFIGURAZIONE B	32
9.2.1	<i>Verifica allo scorrimento globale</i>	<i>32</i>
9.2.2	<i>Verifica allo scorrimento del blocco di sommità.....</i>	<i>32</i>

9.2.3	Verifica al ribaltamento globale.....	33
9.2.4	Verifica al ribaltamento del blocco di sommità.....	33
10	VERIFICA DI STABILITÀ DEL RIVESTIMENTO IN MASSI DELL'ARGINE A VALLE DEL PONTECANALE VILLORESI.....	33
11	APPENDICE 1 – TABULATI DEI CALCOLI IDRAULICI NELLA CONFIGURAZIONE ATTUALE PER LA PORTATA Q200 E PROFILO LONGITUDINALE.....	35
11.1	FIUME LAMBRO	36
11.2	LAMBRETTO.....	40
12	APPENDICE 2 – TABULATI DEI CALCOLI IDRAULICI NELLA CONFIGURAZIONE DI PROGETTO PER LA PORTATA Q200.....	43
12.1	FIUME LAMBRO	44
12.2	LAMBRETTO.....	48

1 Premessa

La presente relazione illustra le analisi idrauliche condotte a supporto della progettazione definitiva degli interventi di sistemazione del fiume Lambro nel centro abitato di Monza.

E' stata effettuata una modellazione idraulica monodimensionale dello stato di fatto in moto permanente utilizzando le portate e i rilievi topografici dello studio dell'AdBPo (anno 2003) e dettagliando maggiormente le sezioni idrauliche dove necessario attraverso il lidar e rilievi topografici locali già realizzata per la progettazione preliminare.

La modellazione del tratto urbano, per una lunghezza complessiva di circa 9 km, posto tra le sezioni LA95.4 e LA94.2.1, è stata effettuata considerando il sistema Lambro – Lambretto come una maglia chiusa in cui le portate si ripartiscono nel rispetto delle equazioni di continuità e di bilanciamento dei carichi al nodo di derivazione del Lambretto e al nodo di confluenza del Lambretto nel Lambro. Sono stati inoltre inseriti tutti i manufatti presenti, ponti e traverse, per definire nel dettaglio la geometria del corso d'acqua.

I profili di moto permanente sono stati calcolati sia per la portata duecentennale (173.1 mc/s a monte del nodo di derivazione Lambro-Lambretto) che per valori crescenti di portata, compresi tra 80 e 200 mc/s, al fine di valutare il valore di portata smaltibile nelle attuali condizioni e nei diversi tratti analizzati.

È stata poi modellata anche la configurazione di progetto al fine di valutare gli eventuali effetti degli interventi di cui al presente progetto definitivo. Tali interventi portano ad un deciso miglioramento della situazione attuale e l'innalzamento dei muri spondali posti in sinistra idraulica (Santuario delle Grazie e via Cantore) eliminano gli allagamenti nelle zone retrostanti e nelle parti della città interessate, e al contempo non peggiorano gli allagamenti sulla sponda opposta e non modificano gli effetti a valle.

Sono state infine eseguite le verifiche di stabilità delle opere provvisorie (ture) per la messa in asciutto dei cantieri che opereranno nell'alveo del Lambro e del Lambretto: tali opere consistono nella posa di blocchi prefabbricati di calcestruzzo di volume pari a 1.0 mc, e risultano non sormontabili fino a portate di 30 mc/s.

2 Inquadramento territoriale

L'asta del fiume Lambro oggetto del presente studio è quella compresa tra le sezioni LA100.2, posta in corrispondenza del ponte di Via Francesco Baracca a San Giorgio in comune di Villasanta, e la sezione LA91.2, ubicata a valle del ponte di Via Marconi e dell'area detta della "Cascinazza", in comune di Monza, come mostrato nella figura seguente (per maggiore dettaglio si veda la tavola B.01 allegata).

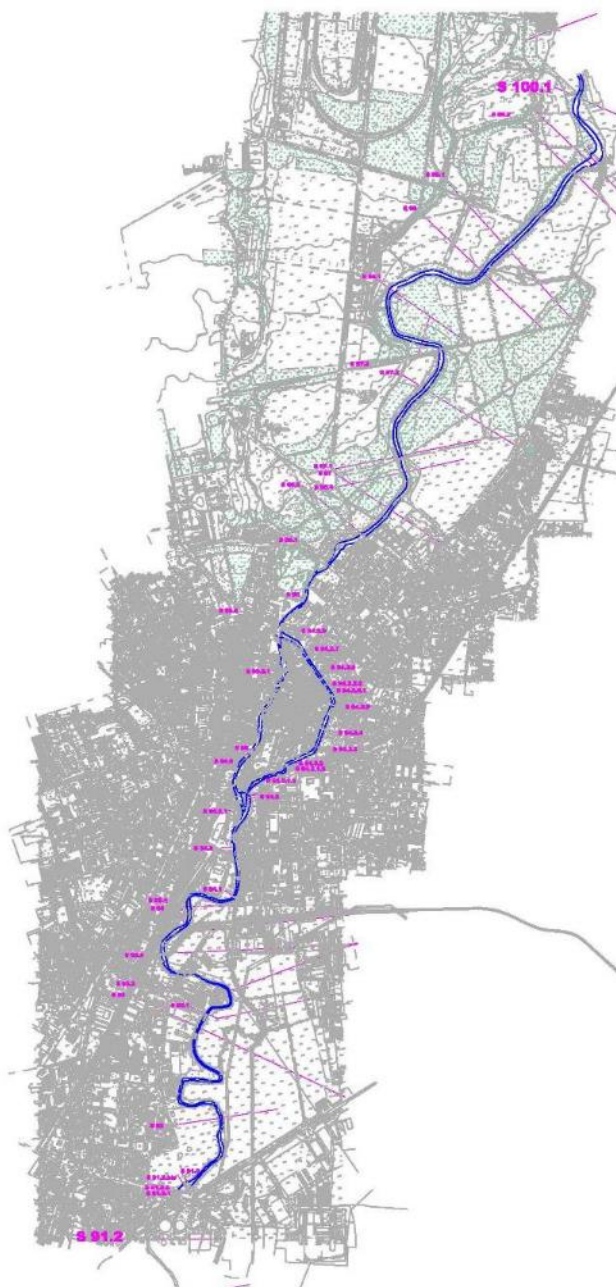


Figura 1 – Corografia dell'asta del Lambro analizzata

Complessivamente il tratto in esame ha una lunghezza di circa 9 km, e una pendenza media del 2÷3‰, tuttavia la presenza di alcune traverse, realizzate nei secoli scorsi per alimentare vecchie derivazioni a scopo irriguo e manifatturiero, ne altera il profilo longitudinale che risulta a oggi discontinuo.

3 Documentazione di riferimento

La presente relazione idraulica è stata redatta prendendo a riferimento la seguente documentazione tecnica:

- Linee generali di assetto idrogeologico e quadro degli interventi Bacino del Lambro. PAI, Piano per l'assetto Idrogeologico, Autorità di Bacino del Fiume Po;
- Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" (Settembre 2003), Autorità di Bacino del Fiume Po – Studio realizzato da Ing. A. Paoletti;
- Tavole PAI di delimitazione delle fasce fluviali (tavola 118040, tavola 096160 – Lambro 07-I);
- Sezioni trasversali del fiume Lambro dell'AdBPo, rilievo 2002
- Report conclusivo del progetto FLORA (Flood estimation in complex orographic area for risk mitigation in alpine space), Arpa Lombardia 2012

4 Portate di progetto

I valori delle portate utilizzati per le verifiche idrauliche dello stato attuale e della configurazione di progetto sono stati desunti dallo “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” (Settembre 2003), Autorità di Bacino del Fiume Po – Studio realizzato da Ing. A. Paoletti. Tali valori sono richiamati nella tabella seguente, suddivisi per diversi tempi di ritorno:

Tabella 1 – Valori di picco degli idrogrammi di piena del Lambro a Monza per diversi tempi di ritorno e in diverse sezioni

Sezione AIPO	Q max T=10 [mc/s]	Q max T=200 [mc/s]	Q max T=500 [mc/s]
100.2	80	88	89
100.1.1.bis	79	95	100
97.1	83	127	128
96	83	173	183
95.5	39	96	100
95.2	44	100	104
95.1	44	101	104
94.3.1	45	115	125
94.3.1.bis	45	185	212
94.3bis	108	215	231
93.4	101	217	235
92	108	225	245
91.3	109	257	285
91.2	154	295	320

A valle della derivazione del Lambretto (sez. LA96) i valori di portata del Lambro e del Lambretto non sono stati assunti pari a quelli dello studio dell’AdBPo, ma è stata calcolata la suddivisione delle portate al nodo di partizione imponendo il rispetto delle equazioni di continuità e di bilanciamento. Poiché nello studio si evince che la portata al nodo di confluenza del Lambretto nel Lambro (sez. LA94.3bis) è maggiore della portata al nodo di derivazione, sono stati attribuiti degli apporti laterali distribuiti, equamente ripartiti tra Lambro e Lambretto.

Nella tabella seguente sono specificati gli incrementi di portata attribuiti, nella configurazione con tempo di ritorno di 200 anni, pari complessivamente a 21 mc/s per il Lambro e 21 mc/s per il Lambretto.

Tabella 2 - Valori degli apporti laterali attribuiti per la configurazione con $T_r = 200$ anni

River	RS	Sez Aipo	Apporto laterale [mc/s]
Lambro	4484	LA95.4	2
Lambro	4127	LA95.2	4
Lambro	3979	LA95.1	14
Lambro	3605	LA94.4	1
Lambretto	799	LA94.3.5.2	14
Lambretto	598	LA94.3.4	7

Nello schema seguente è rappresentata l'attribuzione di portate adottata per la configurazione dello stato attuale per tempo di ritorno di 200 anni.

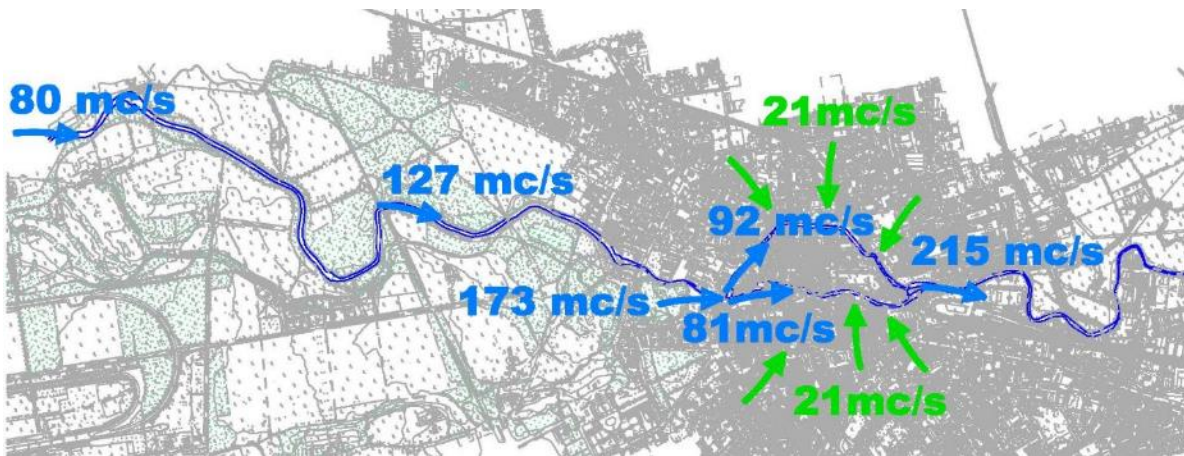


Figura 2 – Schema di attribuzione delle portate adottato per la configurazione attuale e tempo di ritorno di 200 anni

4.1 VALORI DI PIENA PER DIVERSI TEMPI DI RITORNO

I valori di portata al colmo di piena alla sezione LA96 (posta a monte della derivazione del Lambretto), q_T , per tempi di ritorno diversi da quelli indicati nello studio dell'Autorità di Bacino (10, 200 e 500 anni) sono stati valutati applicando il metodo della portata indice, secondo il quale:

$$Q_T = Q_{indice} * x_T$$

dove:

Q_{indice} portata indice, valutata a scala di bacino

x_T fattore di crescita, valutato a scala regionale e funzione del tempo di ritorno, T in anni, assegnato, e

pari a : $\varepsilon + \frac{\alpha}{k} (1 - e^{-ky_T})$, con $y_T = -\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)$

Per la regione cui appartiene il bacino del Lambro si hanno i seguenti valori dei parametri regionali¹:

- $\varepsilon = 0.745$
- $k = -0.110$

¹ Manuale di protezione idraulica del territorio, Renzo Rosso - 2002

– $\alpha = 0.365$

Applicando la relazione precedente si ricavano i seguenti valori di x_T , ai quali corrispondono altrettanti valori di q_{indice} :

- $x_{10} = 1.68$; $q_{\text{indice}} = 49.4$ mc/s
- $x_{200} = 3.37$; $q_{\text{indice}} = 51.33$ mc/s
- $x_{500} = 4.00$; $q_{\text{indice}} = 45.75$ mc/s

Il valore di Q_{indice} scelto per il calcolo degli altri valori di portata al colmo di piena è pari a 47 mc/s, poiché tale valore meglio approssima la curva di crescita Q_T, Tr , passante per i tre valori noti Q_{10} , Q_{200} e Q_{500} come rappresentato nella figura seguente:

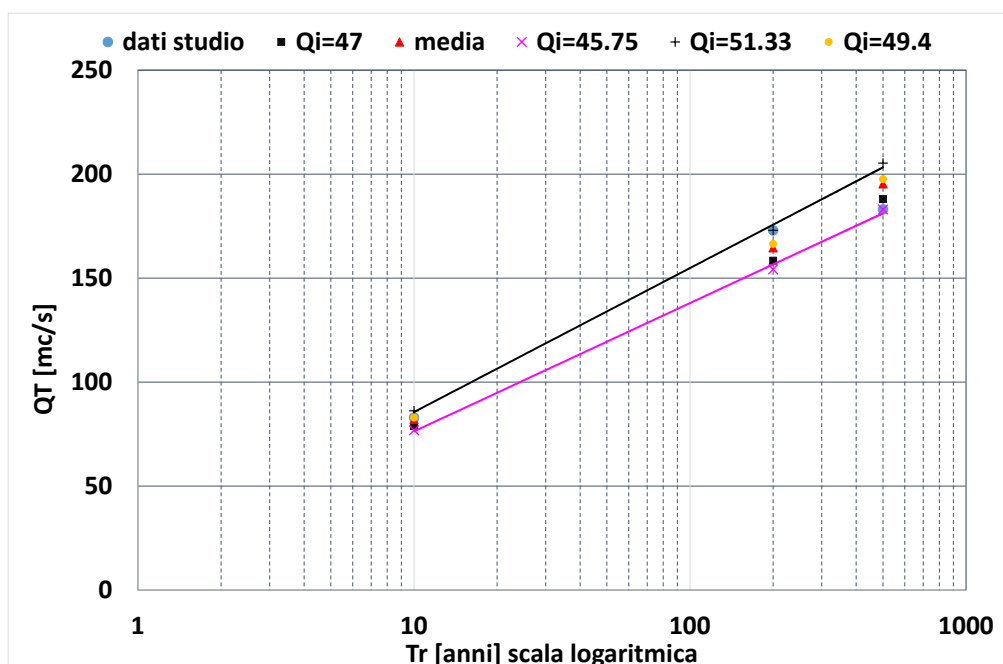


Figura 3 - Andamento della portata di piena al colmo in funzione del tempo di ritorno per i valori desunti dallo studio dell'Autorità di Bacino del fiume Po

Sono stati quindi determinati i valori di portata al colmo con tempo di ritorno di 20, 50, 100 anni, determinando prima i rispettivi valori del fattore di crescita x_T :

- $x_{20} = 2.03$; $Q_{20} = 95$ mc/s
- $x_{50} = 2.52$; $Q_{50} = 118$ mc/s
- $x_{100} = 2.93$; $Q_{100} = 138$ mc/s

Con questi nuovi valori è stata quindi costruita una curva di crescita della portata al colmo di piena in funzione del tempo di ritorno, rappresentata nella figura seguente:

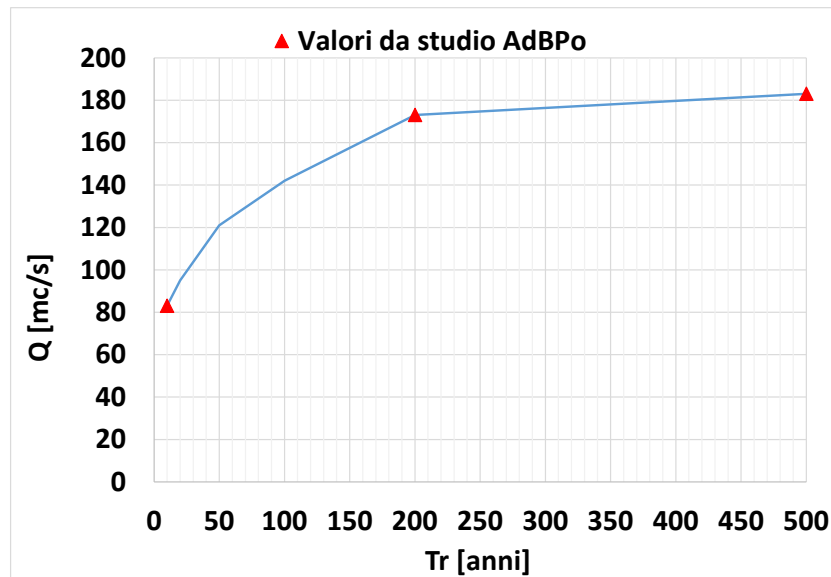


Figura 4 – Curva di crescita della portata al colmo di piena alla sezione LA96 in funzione del tempo di ritorno

4.2 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA SECONDO IL PROGETTO FLORA DI ARPA LOMBARDIA

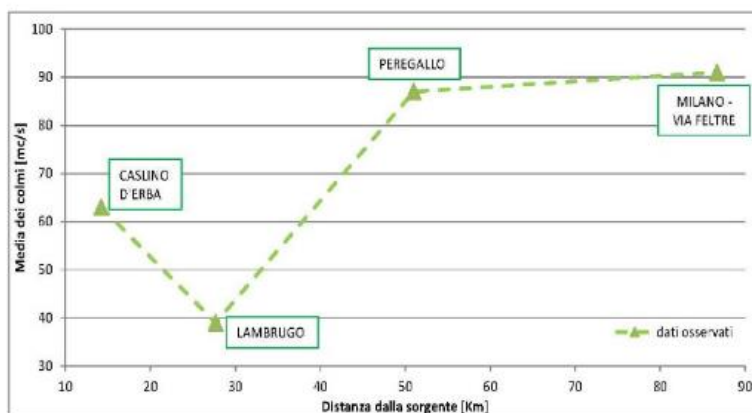
Il progetto FLORA (Flood estimation in complex Orographic area for Risk mitigation in Alpine space) ha avuto come obiettivo il miglioramento di strumenti operativi per la difesa dalle alluvioni in un'area ad orografia complessa come quella rappresentata dalle valli alpine italo-svizzere e l'aumento del livello di protezione dalle alluvioni quale strumento di adattamento e mitigazione degli effetti indotti sul territorio dai cambiamenti climatici. Questi obiettivi sono stati perseguiti anche attraverso la predisposizione di procedure di analisi e gestione del rischio e delle emergenze.

Le tematiche affrontate nel progetto FLORA hanno riguardato:

- il miglioramento della stima della precipitazione alla piccola scala spazio-temporale, indispensabile per la valutazione delle piene dei bacini montani, sia in termini di previsione (modelli meteorologici) sia di osservazione (radar);
- la sperimentazione di strumenti di nowcasting delle piene improvvise su piccoli bacini, attraverso l'uso di prodotti innovativi come i “radar ensemble” per alimentare i modelli idrologici di previsione in tempo reale;
- l'aggiornamento delle valutazioni probabilistiche delle portate di piena a scala regionale quale indispensabile strumento a base della valutazione del rischio di inondazione e più in generale per un appropriato dimensionamento delle opere idrauliche connesse al corso d'acqua.

Per quanto riguarda il bacino del Lambro, nella figura seguente sono riportati i risultati conseguiti dallo studio:

STIMA DELLE PORTATE AL COLMO DI PIENA LAMBRO



	Sezione	Distanza dalla sorgente [Km]	Media massimi annuali di portata al colmo [mc/s]	Qc Tr 1.33 anni	Qc Tr 5 anni	Qc Tr 10 anni	Qc Tr 20 anni	Qc Tr 50 anni	Qc Tr 100 anni	Qc Tr 200 anni	Qc Tr 500 anni
LAMBRO	casinò d'erba	14.2	63	41	84	103	123	150	172	194	226
	LAMBRUGO	27.7	39	25	52	64	76	93	106	120	140
	peregallo	51.0	87	56	116	143	170	207	237	269	313
	milano via feltre	86.7	91	59	121	149	178	217	248	281	327

Figura 5 – Stima delle portate al colmo di piena secondo lo studio del progetto FLORA di ARPA Lombardia (2012)

Tali valori di portate al colmo per diversi tempi di ritorno risultano sensibilmente superiori ai valori indicati dall'Autorità di Bacino, come mostrato nella figura seguente:

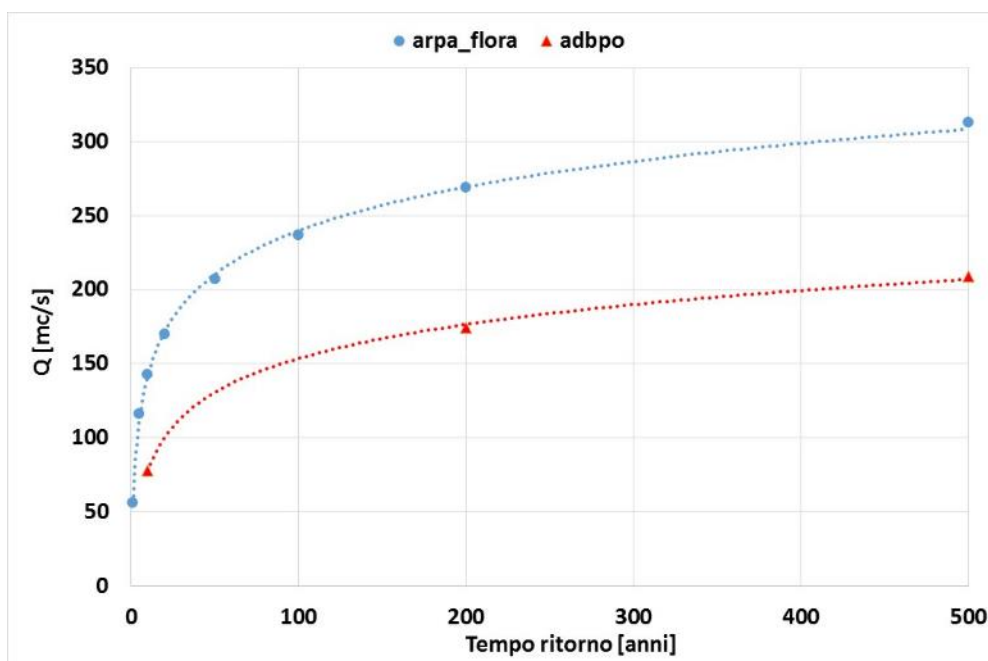


Figura 6 - Confronto curve di crescita Portata-Tempo di ritorno tra valori studio ARPA progetto FLORA (2012) e Autorità di Bacino del fiume Po (2003)

Tuttavia i valori calcolati dal progetto FLORA rappresentano una stima idrologica delle portate di piena, mentre i valori calcolati nello studio dell'Autorità di Bacino rappresentano una stima idrologica e idraulica delle portate di piena, in quanto tengono in considerazione 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.

Tutte le successive valutazioni relative agli effetti prodotti dagli interventi di progetto sono state fatte in riferimento ai valori di portata stimati dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

5 Eventi di piena dal 1998 al 2014

La stazione idrometrica sul Lambro più prossima a Monza è situata a Peregallo, frazione del comune di Lesmo, in corrispondenza del ponte di Via Risorgimento.



Figura 7 - Ubicazione dell'idrometro di Peregallo

Nella figura seguente sono riportati i valori registrati dal luglio 1998 fino al 31/12/2014. Come si osserva, dal 1998 si sono verificati solo tre eventi che hanno registrato un livello massimo superiore a 2.50 m: nel 2002, nel 2010 e nel 2014; mentre solo l'evento del 2002 è risultato superiore a 3.0 m.

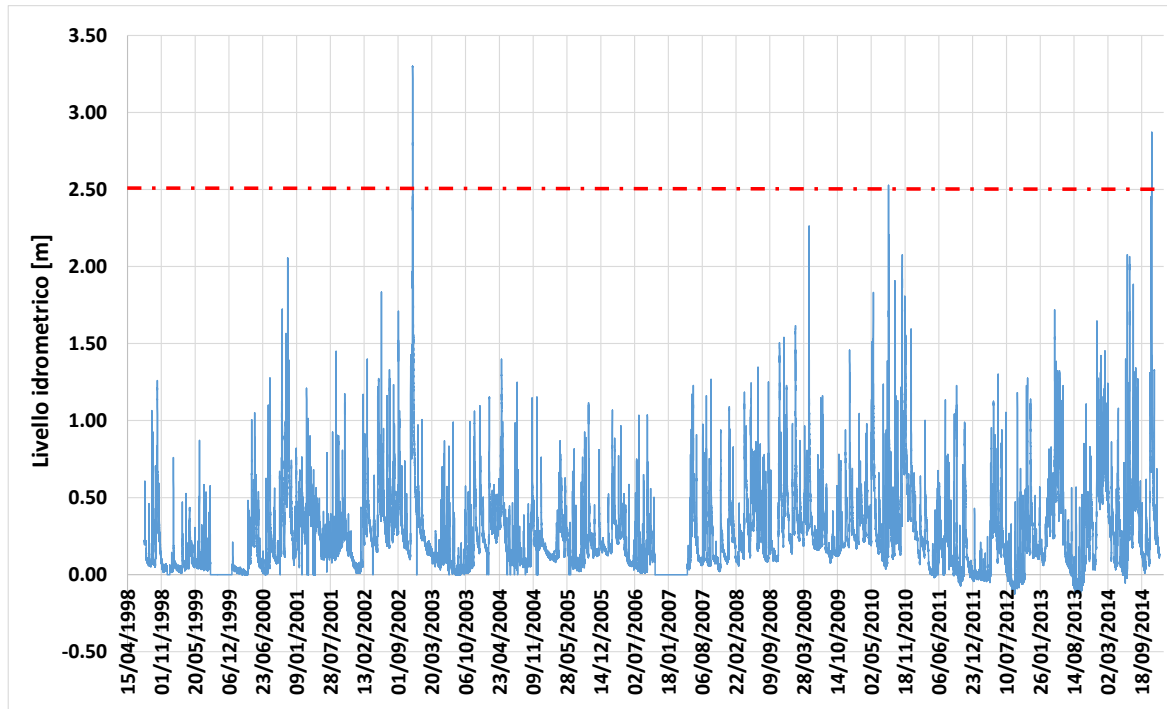


Figura 8 - Andamento dei livelli idrometrici registrati alla stazione di Peregallo dal 1998 al 31/12/2014

5.1 EVENTO DI PIENA DEL 2002

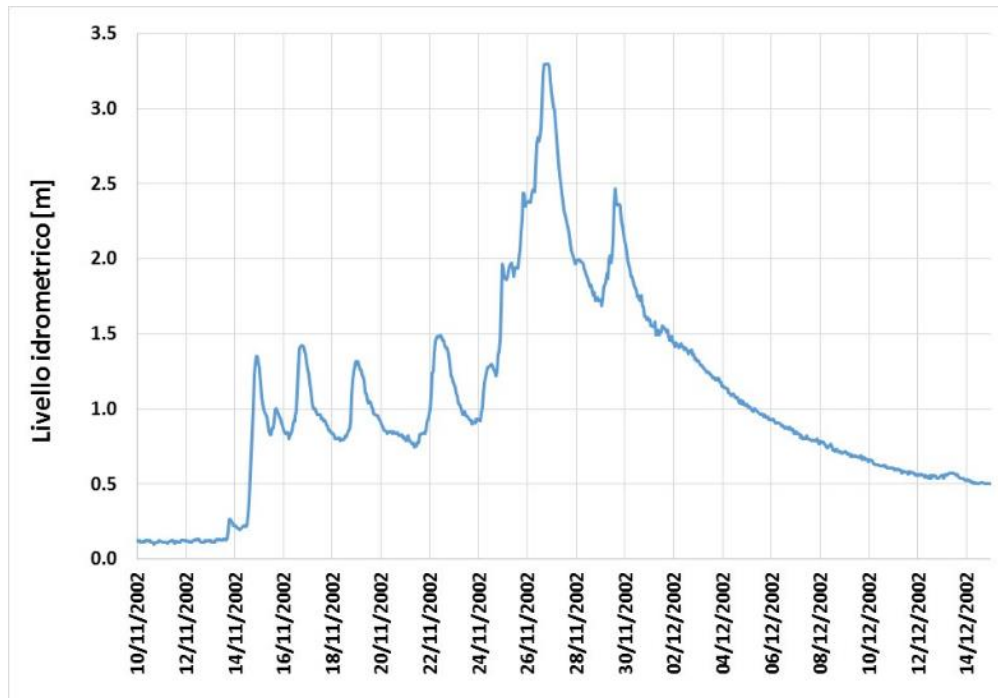


Figura 9 - Andamento dei livelli idrometrici a Peregallo durante l'evento di piena del 2002

5.2 EVENTO DI PIENA DEL 2010

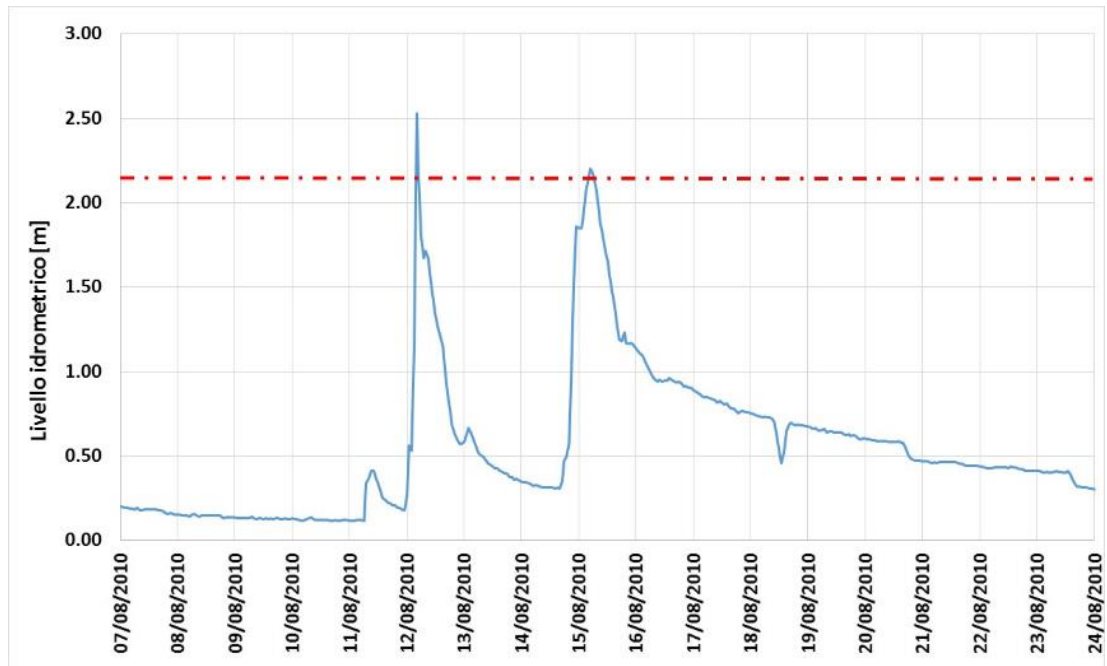


Figura 10 - Andamento dei livelli idrometrici a Peregallo durante l'evento di piena del 2010

5.3 EVENTO DI PIENA DEL 2014

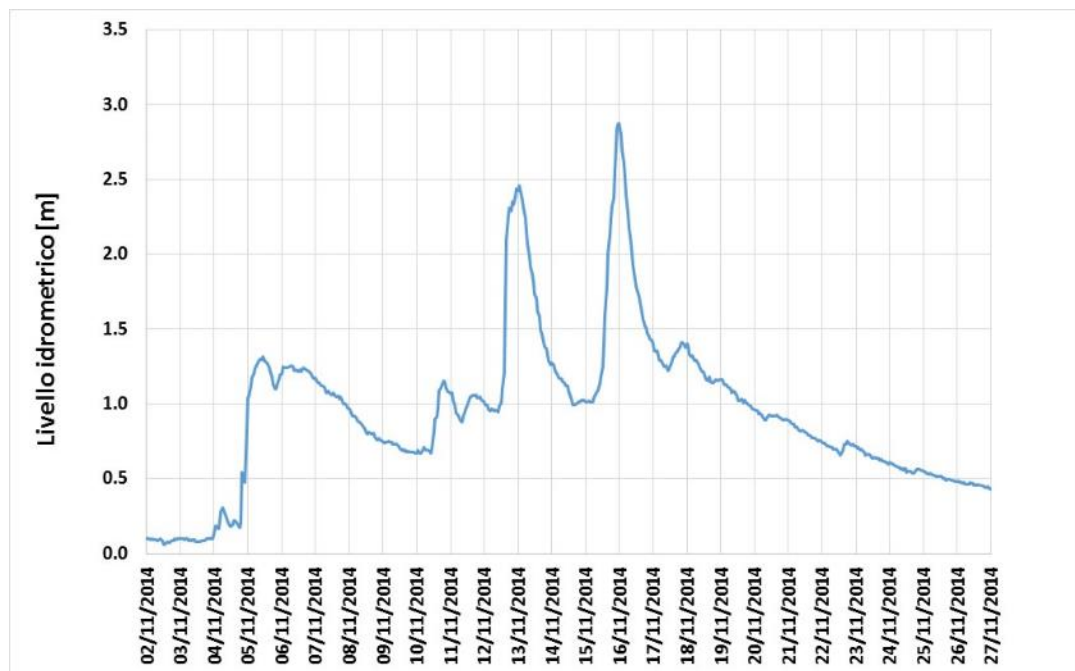


Figura 11 - Andamento dei livelli idrometrici a Peregallo durante l'evento di piena del 2014

5.4 SCALA DELLE PORTATE A PEREGALLO

L'equazione della scala delle portate dell'idrometro di Peregallo è stata fornita da ARPA-Lombardia.

Come mostrato nella tabella seguente tale equazione è stata aggiornata diverse volte dal 1988 a oggi e risulta validata attualmente fino a valori di livello di 1.85 m sullo zero idrometrico. In figura 11 sono riportate le diverse curve delle portate, graficate anche per valori superiori al massimo validato.

Rete di monitoraggio regionale Lombardia			ARPA LOMBARDIA		
Riepilogo scale di deflusso			Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente		
Aggiornamento: 30/11/2014			Settore Tutela dai Rischi Naturali		
Fonte: Arpa Lombardia - Servizio Idrografico			Servizio Idrografico		
Lambro	Peregallo	CISE	$Q=14.124 \cdot (h+0.119)^{2.492}$	$-0.11 < h(m) < 3$	dal 1/1/1988 al 31/12/2004
Lambro	Peregallo	IDROGRAFICO	$Q = 3.465 \cdot (h+0.725)^{5.631}$	$-0.5 < h(m) <= 0.25$	dal 1/1/2007 al 3/5/2010
Lambro	Peregallo	IDROGRAFICO	$Q = 28.12 \cdot (h+0.037)^{1.787}$	$0.25 < h(m) <= 2$	dal 1/1/2007 al 3/5/2010
Lambro	Peregallo	IDROGRAFICO	$Q = 26.367 \cdot (h+0.181)^{1.682}$	$-0.07 < h(m) < 1.3$	dal 3/5/2010
Lambro	Peregallo	IDROGRAFICO	$Q = 93.151 \cdot (h-1.168)^{0.2903}$	$1.3 <= h(m) < 1.85$	dal 3/5/2010

Figura 12 – Equazioni della scala di deflusso delle portate per l'idrometro di Peregallo (da Arpa Lombardia)

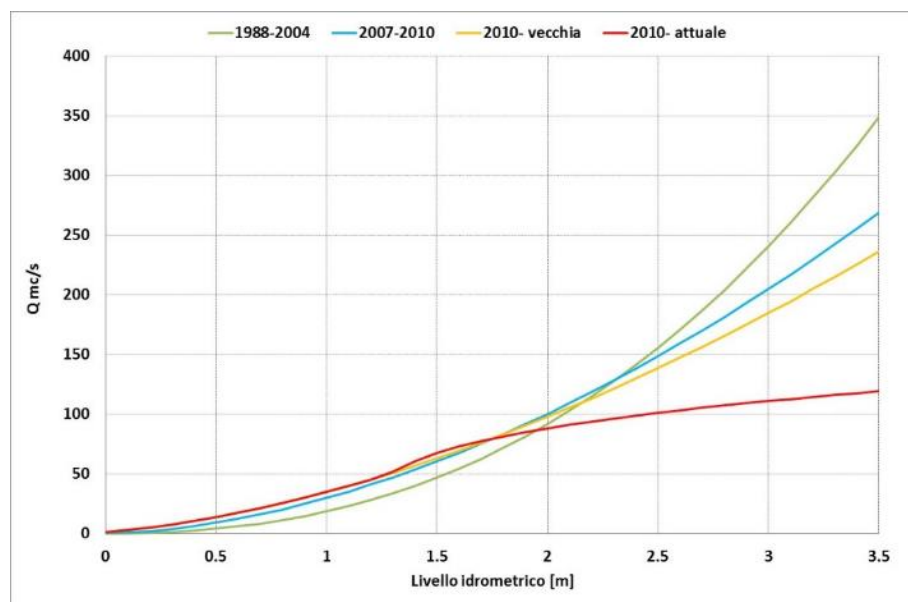


Figura 13 – Scale delle portate per la stazione di Peregallo dal 1988 a oggi

L'attuale equazione della scala di deflusso delle portate è stata utilizzata per calcolare il valore di portata al colmo di piena degli eventi più gravosi del 2002 e 2014, anche se il massimo valore di livello idrometrico registrato durante i due eventi è risultato superiore al limite di validità dell'equazione.

Sono stati ottenuti i seguenti valori di portata:

- Evento 2002: 116 mc/s (stima secondo AdBPo = 140 mc/s)
- Evento 2014: 110 mc/s

L'attuale scala di deflusso risulta tuttavia difficilmente riproducibile, per valori di livello superiori a 2.0 m, dal modello idraulico del Lambro implementato in questo studio.

In fase di calibrazione del modello sono stati attribuiti diversi valori del coefficiente di scabrezza al fine di riprodurre al meglio gli eventi osservati; in particolare per il tratto limitrofo all'idrometro di Peregallo il coefficiente di scabrezza di Strickler è stato fatto variare tra 15 e 40 $\text{m}^{1/3}/\text{s}$.

Nella figura seguente sono riportate le diverse scale delle portate ottenute dal modello idraulico del Lambro per i diversi valori di scabrezza attribuiti. Come si può osservare per valori del livello idrometrico compreso tra 0 e 2.0 m la curva di Arpa può essere approssimabile alla curva ottenuta con $K_s = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, mentre per valori superiori di livello le due curve divergono.

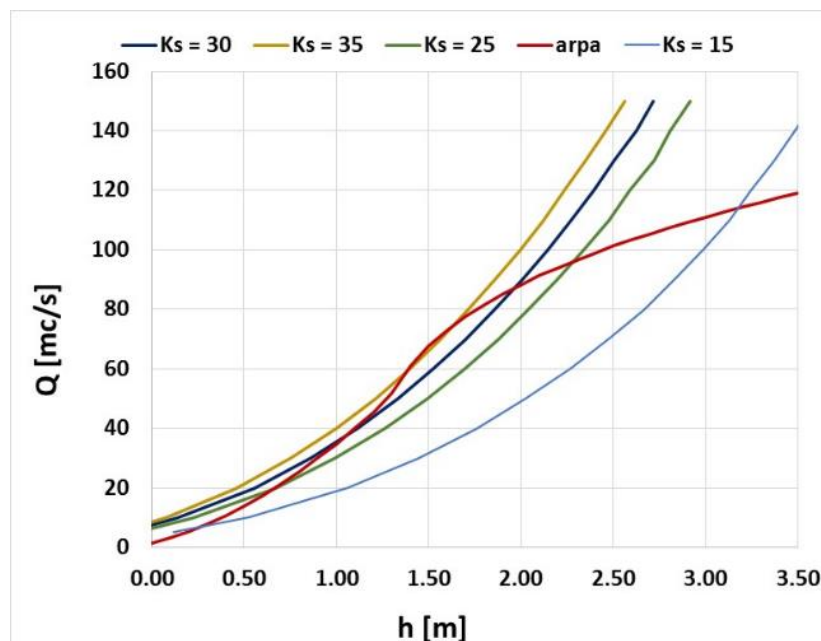


Figura 14 - Scale delle portate per la stazione di Peregallo ottenute dal modello idraulico del Lambro per diversi valori di scabrezza, confrontate con la scala “ARPA” attualmente vigente.

5.5 FREQUENZA DI RITORNO DEGLI ULTIMI EVENTI DI PIENA

Riportando i valori del colmo di piena degli eventi del 2002 e 2014 precedentemente calcolati sulla curva di crescita delle portate in funzione del tempo di ritorno dell'evento è possibile stimarne il relativo tempo di ritorno:

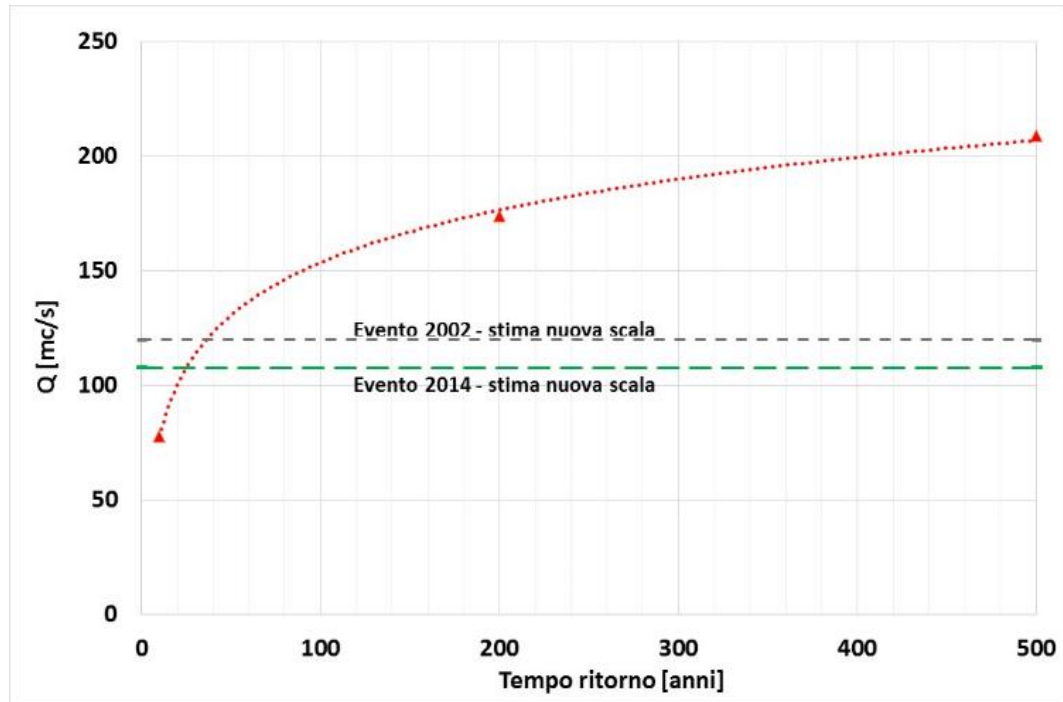


Figura 15 - Curva di crescita delle portate in funzione del tempo di ritorno ed eventi 2002 e 2014

Risulta quindi che a entrambi gli eventi è associabile un tempo di ritorno compreso tra 20 e 50 anni.

letteratura² con immagini del corso d'acqua e distinguendo tra alveo inciso (main channel) e sponde o aree golenali, come indicato nella tabella seguente:

Tabella 3 – Valori del coefficiente di scabrezza attribuiti nei diversi tratti

Tipo sezione	Tratto	Valori del coefficiente n di Manning [$s \cdot m^{-1/3}$]		
		Sponde/aree golenali SX	Alveo	Sponde/aree golenali DX
Alveo naturale	LA100.2 – LA 100.1	0.066	0.028 ³	0.066
Alveo naturale (presenza di vegetazione)	LA 100.1 – LA 96.4	0.1	0.033	0.1
Alveo naturale	LA 96.4 – LA 96.1	0.05	0.028	0.2
Sponde rivestite in massi	LA 96.1 – LA 95.5	0.2	0.028	0.2
Alveo canalizzato in c.a.	LA 95.5 – LA 94.5	0.022	0.022	0.022
Alveo naturale	LA 94.5 – LA 94.2.1	0.2	0.03	0.15
Alveo canalizzato in c.a.	LA 94.2.1 – LA 94.1	0.2	0.025	0.02
Alveo naturale (presenza di vegetazione in DX)	LA 94.1 - LA 93	0.035	0.033	0.07
Alveo naturale (presenza di vegetazione in DX e SX)	LA 93 – LA 91.2	0.07	0.033	0.07

Le analisi idrauliche sono state eseguite in regime di moto permanente di “mixed flow”, adottando le seguenti condizioni al contorno:

- Sezione LA100.2: critical depth;
- Nodo di derivazione Lambro-Lambretto: angolo alveo Lambretto rispetto all'alveo del Lambro di 100° e utilizzando per la ripartizione delle portate l'equazione di bilancio dei momenti;
- Nodo di confluenza Lambro-Lambretto: angolo alveo Lambretto rispetto all'alveo del Lambro di 50° e utilizzando per la ripartizione delle portate l'equazione di bilancio dei momenti;
- Sezione LA91.2: critical depth

I profili di moto permanente sono stati calcolati sia per la portata duecentennale (173.1 mc/s a monte del nodo di derivazione Lambro-Lambretto) che per valori crescenti di portata, compresi tra 80 e 200 mc/s, al fine di valutare il valore di portata smaltibile nelle attuali condizioni e nei diversi tratti analizzati.

² Ven Te Chow, Open-channel Hydraulics; cap. 5 Figg 5-5

³ Il valore di scabrezza adottato $n = 0.028$ ($ks = 35$) risulta compatibile all'analisi dei luoghi, ma superiore a quello individuabile dalla scala di deflusso di ARPA.

6.2 DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ IDRAULICHE EMERSE DALLO STUDIO

Lo studio idraulico a corredo del progetto preliminare aveva analizzato, attraverso la modellazione idraulica monodimensionale dello stato di fatto in moto permanente, un tratto urbano del fiume Lambro, posto tra le sezioni LA95.4 e LA94.2.1, per una lunghezza complessiva di circa 9 km.

Nel presente capitolo si riportano le considerazioni riguardanti le criticità idrauliche emerse dallo studio idraulico per i soli tratti oggetto degli interventi del presente progetto definitivo.

6.2.1 Tratto tra Santuario delle Grazie e ponte di via D’Azeglio (sezioni LA97 – LA95.5)

Il tratto di fiume Lambro posto immediatamente a monte del ponte di via Montecassino (sezione LA96.3) scorre tra il parco della Villa Reale (in destra idraulica) e le aree pertinenti al santuario della Basilica delle Grazie (in sinistra idraulica). Quest’ultimo risulta attualmente presidiato da un muro spondale (che garantisce un franco minimo di circa 1.0 m rispetto al livello idrico della portata di piena duecentennale), che tuttavia manca di continuità in due tratti posti in prossimità del ponte, dov’è presente una cancellata, come mostrato nelle immagini seguenti:



Figura 17 – Vista dal ponte di via Montecassino del muro spondale esistente posto a difesa della Basilica delle Grazie



Figura 18 – Vista dalla sponda destra del muro spondale esistente posto a difesa della Basilica delle Grazie, e della cancellata che interrompe la continuità del muro stesso

Occorre pertanto ripristinare la continuità del muro spondale al fine di garantire un’efficace protezione idraulica del Santuario e delle aree circostanti, poiché attualmente l’acqua che fuoriesce in sinistra idraulica (come accaduto durante il recente evento di piena del Novembre 2014) oltre ad occupare il piazzale antistante la Basilica scorre lungo le vie Montecassino, Annoni e Toti recando notevoli disagi e allagamenti

alla città.

A valle del ponte di via Cantore (sezione LA96.1) e fino alla via Fabio Filzi, la sponda sinistra è presidiata da un muro spondale (figura 20), la cui sommità è a quota 161.40 m slm, che tuttavia risulta sormontabile dal livello di piena duecentennale, posto intorno a quota 161.70 m slm in questo tratto.



Figura 19 – Vista del muro spondale esistente in sinistra idraulica a valle del ponte di via Cantore

Come avvenuto anche durante l'evento di piena del Novembre 2014 l'acqua allaga l'area in sinistra e prosegue in via Santuario delle Grazie Vecchie, percorrendola talvolta anche verso monte, se l'energia le consente di superare via Cantore. Occorre pertanto innalzare il muro spondale esistente per difendere le aree in sinistra idraulica.

Confrontando i risultati ottenuti con la tavola PAI di delimitazione delle fasce fluviali (tavola 118040 – Lambro 07-I), della quale si riporta uno stralcio nella figura seguente, si riscontra una difformità tra il limite di fascia B e quanto precedentemente descritto. Tale differenza scaturisce probabilmente dalla rappresentazione dell'alveo effettuata in fase di definizione della fasce fluviali solo attraverso le sezioni 96.1 (Ponte di via Cantore) e 96 (a valle di via Filzi), che non tengono conto della reale conformazione della sponda sinistra in questo tratto. Nel modello idraulico qui implementato per l'analisi dello stato di fatto sono state invece inserite alcune sezioni intermedie tra la 96.1 e la 96, per descrivere più nel dettaglio, alla luce dei rilievi topografici eseguiti, le quote delle sponde esistenti: ciò ha permesso di verificare anche quanto osservato durante i recenti eventi di piena.

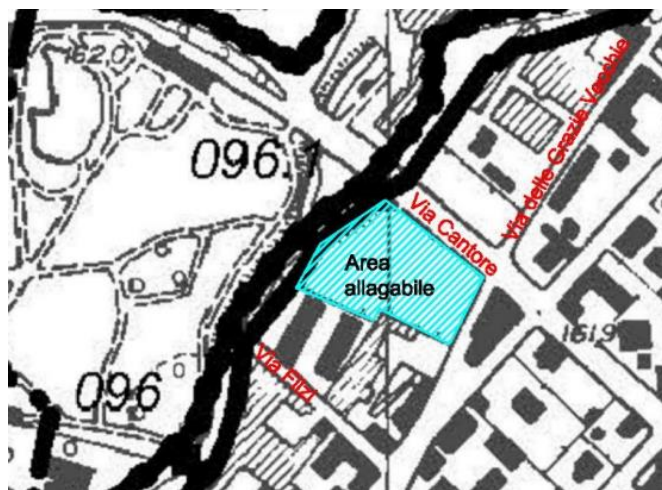


Figura 20 – Stralcio della tavola PAI di delimitazione delle fasce fluviali (tavola 118040 – Lambro 07-I)

Tra il confine dell'area allagabile e la via Filzi è presente un altro muro (figura 22), la cui sommità è a quota 162.50, e pertanto non risulta sormontabile dal livello di piena duecentennale.



Figura 21 – Vista del muro spondale esistente in SX idraulica, posto tra il ponte di via Cantore e Via Filzi

Tale muro risulta interrotto al termine di via Filzi (Figura 23) dove è presente una cancellata di accesso al fiume, occorre dare continuità a tale difesa per evitare possibili esondazioni lungo la via Filzi stessa.



Figura 22 – Vista della cancellata esistente al termine di Via Filzi, a interruzione del muro spondale presente in sponda sinistra

6.2.2 Tratto tra via Aliprandi e via De Amicis

A valle della traversa di San Gerardino il rivestimento dell'alveo in calcestruzzo è notevolmente ammalorato, e in alcuni punti è stato completamente rimosso dalla corrente, come mostrato nelle immagini seguenti: occorre pertanto ripristinare tale rivestimento per evitare che l'azione erosiva della corrente comprometta la stabilità del manufatto e delle murature limitrofe.



Figura 23a – Vista dal ponte di Via De Amicis della traversa di San Gerardino e dell'alveo del Lambro ammalorato



Figura 23b - Vista dal ponte di Via De Amicis della traversa di San Gerardino e dell'alveo del Lambro ammalorato

6.2.3 Tratto tra via C.Colombo e Via Santa Maddalena (sezioni LA95.1 – LA94.6)

Il muro arginale posto in sponda sinistra lungo la Via Spaldo Piodo (figura 25a) presenta numerose fessure (figura 25b), sia lungo la superficie di contatto tra la parte bassa del muro e la parte più alta (realizzata come innalzamento del muro sottostante), sia tra i conci di pietra costituenti il muro stesso. Tali fessure sono state causate dalla progressiva rimozione della malta per effetto dell'azione erosiva dell'acqua durante gli eventi di piena, e dalla presenza di vegetazione cresciuta nel corso degli anni e potrebbero compromettere la stabilità stessa del muro spondale durante eventi di piena significativi. Occorre pertanto intervenire e risanare tale struttura per assicurare la corretta tenuta idraulica lungo tutta la sponda sinistra.



Figura 24a - Vista del muro arginale sinistro lungo via Spalto Piodo



Figura 25b – Particolare della fessura presente sul muro spondale

6.2.4 Tratto tra confluenza Lambretto e via Ghilini

Il muro spondale in sinistra idraulica parallelo a via Ghilini presenta alcune crepe, dalle quali trafila acqua durante gli eventi di piena: occorre pertanto intervenire per sigillare tali crepe e ripristinare la tenuta idraulica del muro spondale.



Figura 26 – Vista delle crepe presenti lungo il muro spondale di Via Ghilini

In prossimità dell'incrocio tra via Ghilini e Via Timavo lungo la sponda sinistra del Lambro è presente il manufatto di derivazione della Roggia Lupa, il cui tracciato scorre parallelo a via Ghilini.

Poco a valle del manufatto di derivazione è presente un piccolo attraversamento stradale a monte del quale è ubicato il vecchio manufatto di regolazione della Roggia, le cui paratoie non sono più in funzione.

Durante gli eventi di piena il livello idrico del Lambro può superare la sommità del manufatto di regolazione e l'acqua può raggiungere le aree limitrofe: occorre pertanto adeguare la difesa spondale per evitare allagamenti.



Figura 27 – Vista del manufatto di regolazione sulla Roggia Lupa



Figura 28 - Vista del manufatto di regolazione sulla Roggia Lupa dal lato interno dal quale si nota l'assenza delle paratoie

6.2.5 Tratto tra Via Ghilini e ponte Via Marconi (sezioni LA94.2.1 – LA91.2)

Lungo il tratto posto a valle della confluenza del Lambretto nel Lambro è presente una criticità immediatamente a valle del pontecanale Villoresi: lungo la sponda sinistra la difesa spondale in massi risulta interrotta nella parte sommitale dell'argine, e in questo punto la corrente ha eroso parzialmente l'argine stesso, rendendo la sponda sormontabile. Occorre quindi ripristinare la difesa in massi.



Figura 29 – Vista della falla arginale lungo la sponda sinistra a valle del Pontecanale Villoresi

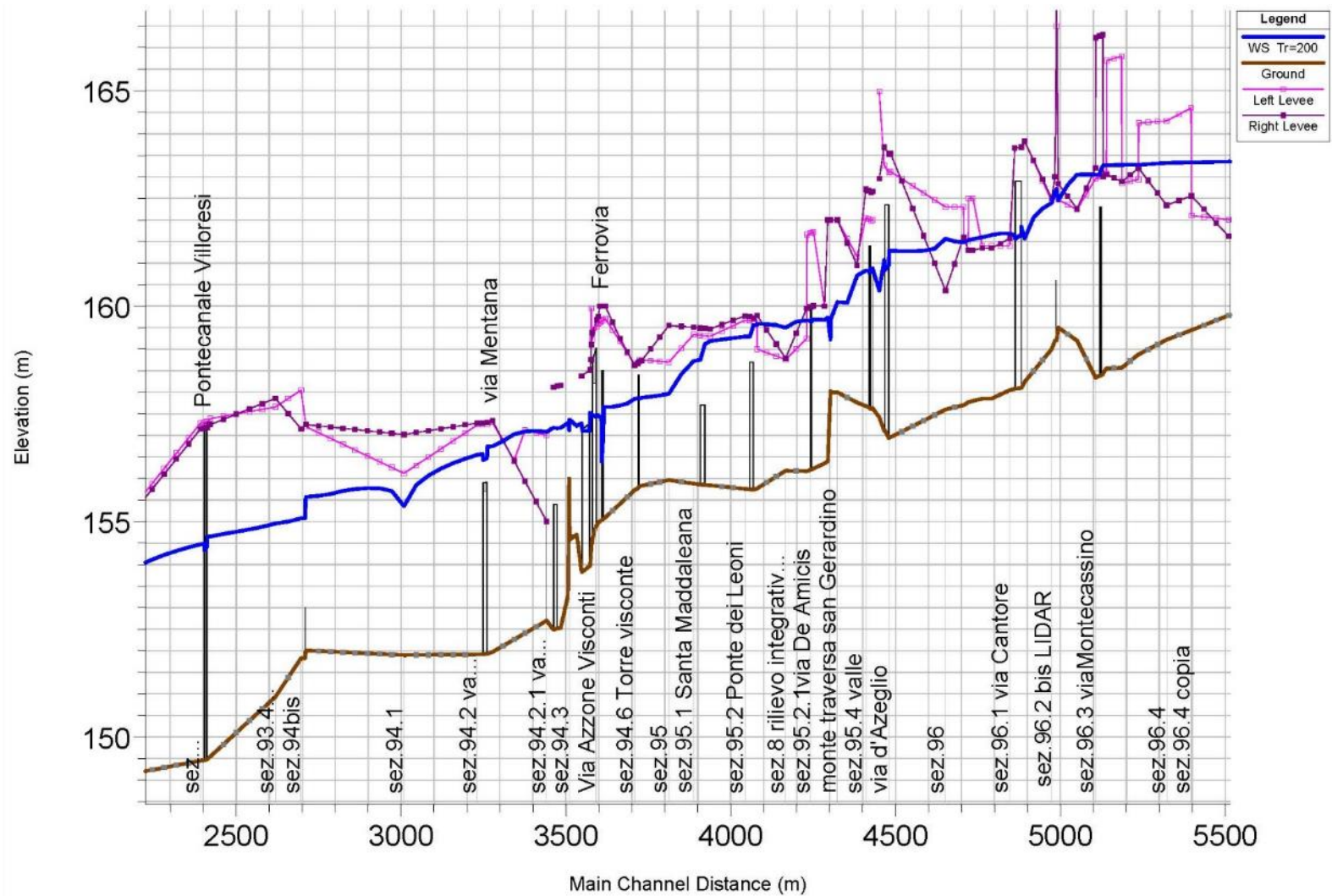


Figura 30 – Profilo longitudinale del Lambro nel tratto compreso tra il ponte di via Montecassino (LA96.3) e il ponte canale Villorresi (LA93.3) per la portata duecentennale (173.1 mc/s a monte della derivazione Lambretto, ripartiti in 81 mc/s nel Lambro e 92 mc/s nel Lambretto)

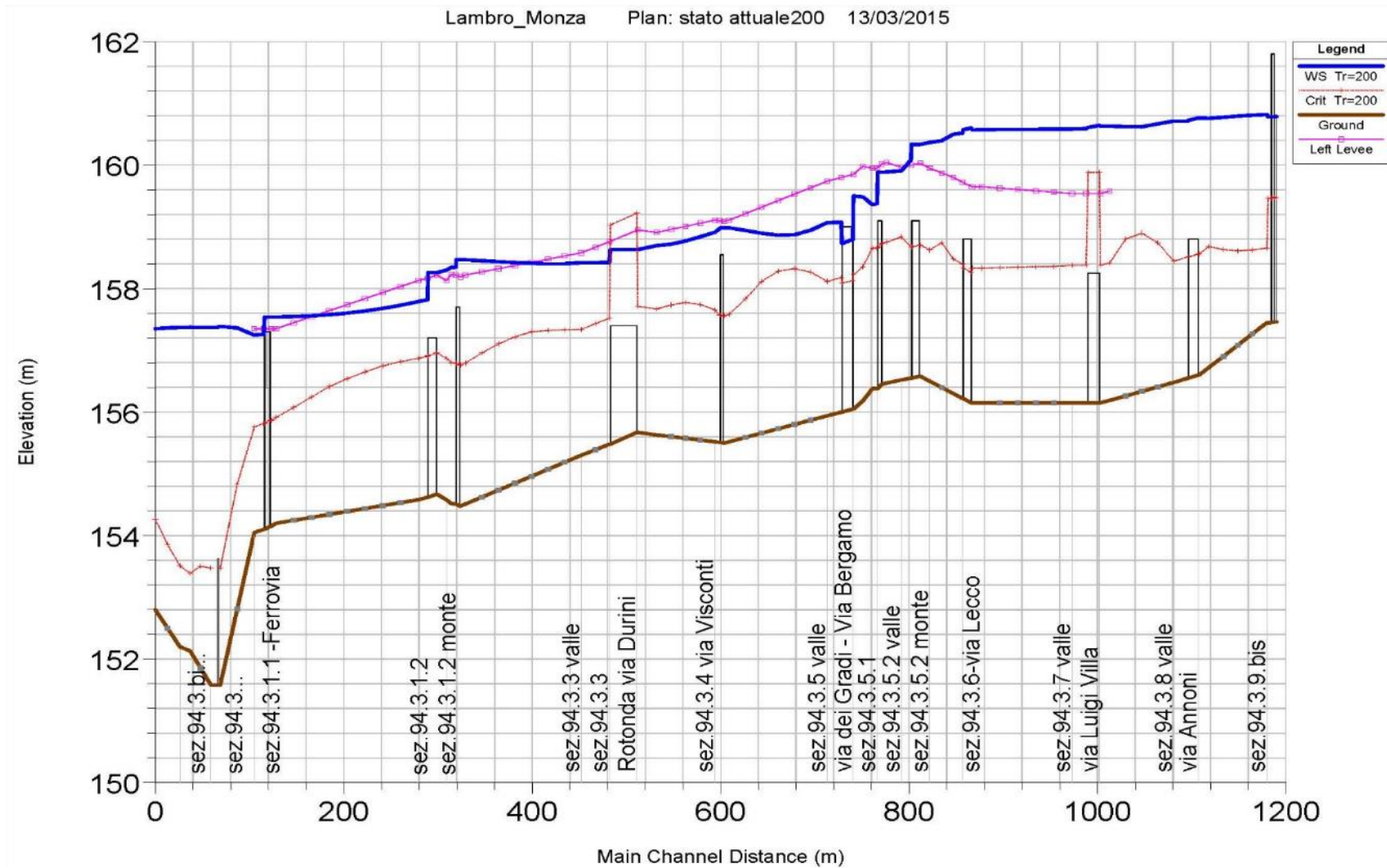


Figura 31 – Profilo longitudinale del Lambretto nella configurazione attuale per la portata duecentennale (173.1 mc/s a monte della derivazione Lambretto, ripartiti in 81 mc/s nel Lambro e 92 mc/s nel Lambretto)

7 Descrizione degli interventi di progetto proposti

Gli interventi di progetto proposti nel presente progetto definitivo riguardano quelle criticità puntuali individuate precedentemente, la cui risoluzione ha trovato possibilità d'essere attuata tramite il finanziamento reso disponibile dalla Regione Lombardia.

Si tratta di interventi individuati come prioritari e anche di più facile realizzazione rispetto agli interventi complessivi di mitigazione del rischio idraulico di cui al progetto preliminare.

In estrema sintesi gli interventi di progetto (per una descrizione più approfondita si rimanda alla relazione generale) sono i seguenti (descritti da valle verso monte):

- Il ripristino della continuità arginale a valle del pontecanale Villorresi;
- l'installazione di panconi metallici presso l'opera di presa della Roggia Lupa al fine di limitare il rischio di allagamento in sponda sinistra;
- il risanamento lato fiume del muro spondale di via Ghilini realizzato mediante ricostruzione e sigillatura dei giunti strutturali ove necessario ripristinando la tenuta idraulica
- il taglio selettivo della vegetazione infestante in sponda sinistra tra le sezioni LA94.1 e LA93.4.
- il risanamento del muro spondale in sinistra lungo via Spalto Piodo, che attualmente presenta numerose fessurazioni con specifici interventi di sistemazione quale bene del patrimonio culturale e con interventi che per un primo tratto della lunghezza di circa mt.12,00 prevedono lo smontaggio e rimontaggio degli elementi in pietra costituenti il muro e per un secondo tratto, sino al ponte di Via S. Maddalena e della lunghezza di circa mt.110,00, prevedono la pulizia e risanamento dei giunti e il rifacimento della copertina in cemento;
- La demolizione del rivestimento del fondo alveo attuale ammalorato e il rifacimento dello stesso tra la traversa di San Gerardino e il ponte di via De Amicis
- l'installazione di un cancello carraio a tenuta idraulica su tre lati (di altezza 1.0 m) in corrispondenza della rampa di discesa in alveo all'altezza del ponte di Via Santa Maddalena;
- l'installazione di barriere mobili in corrispondenza di alcuni varchi stradali da attuarsi in caso di allerta da parte della protezione civile per contenere le esondazioni in sponda destra e sinistra lungo Via Tintori; tale intervento è necessario per evitare che il sormonto delle sponde causi allagamenti in caso di transito lungo il Lambro di portate superiori a 75 mc/s, corrispondenti a 90 mc/s a monte della derivazione del Lambretto ($Tr = 20/30$ anni).
- Sistemazione della traversa di derivazione del Lambretto con ripristino del rivestimento in massi rimosso alla base del manufatto e pulizia del fondo alveo a monte del ponte di via Annoni
- L'innalzamento del muro esistente di sponda sinistra a valle del ponte di via Cantore per circa 90 m
- Il ripristino della continuità dal muro spondale in corrispondenza di Via Filzi dove oggi esiste una cancellata per una lunghezza di circa mt.7,00 e l'installazione di sistema di tenuta idraulica del cancello carraio di accesso alla sponda arginale.

- La realizzazione di un muro in sponda sinistra in continuità con quello esistente tra le sezioni LA96.4 e LA96.3 a protezione della Basilica delle Grazie per una lunghezza di circa 60 m;
- Fornitura e installazione di una stazione di misura livello per la misura di portata lungo il Lambro attuata attraverso l'installazione di due misuratori di livelli a ultrasuoni dotati di datalogger, modem e software alimentati con pannello solare e con regolatore di carica

8 Analisi idraulica dello stato di progetto

L'analisi idraulica dello stato di progetto è stata condotta implementando un modello idraulico monodimensionale del fiume Lambro analogo a quello utilizzato per l'analisi dello stato di fatto, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS.

Le analisi idrauliche sono state eseguite in regime di moto permanente di "mixed flow", adottando le seguenti condizioni al contorno:

- Sezione LA100.2: critical depth;
- Nodo di derivazione Lambro-Lambretto: angolo alveo Lambretto rispetto all'alveo del Lambro di 100° e verifica tramite l'equazione di bilancio dei momenti;
- Nodo di confluenza Lambro-Lambretto: angolo alveo Lambretto rispetto all'alveo del Lambro di 50° e verifica tramite l'equazione di bilancio dei momenti;
- Sezione LA91.2: critical depth

I profili di moto permanente sono stati calcolati sia per la portata duecentennale (173.1 mc/s a monte del nodo di derivazione Lambro-Lambretto) che per valori crescenti di portata, compresi tra 80 e 200 mc/s.

In estrema sintesi si osserva che gli interventi di progetto migliorano le situazioni di allagamento localizzato sulla sponda sinistra del santuario delle grazie e di via Cantore, ma non alterano i profili di rigurgito né per l'evento di piena duecentennale né per valori di portata inferiori, e pertanto risultano compatibili con le attuali capacità di smaltimento del Lambro e Lambretto nell'abitato di Monza.

Nel seguito si riporta uno stralcio del profilo longitudinale del tronco fluviale compreso tra il Santuario delle Grazie Vecchie e via Filzi, con il confronto tra la configurazione attuale e quella di progetto e l'indicazione dei rialzi spondali di progetto.

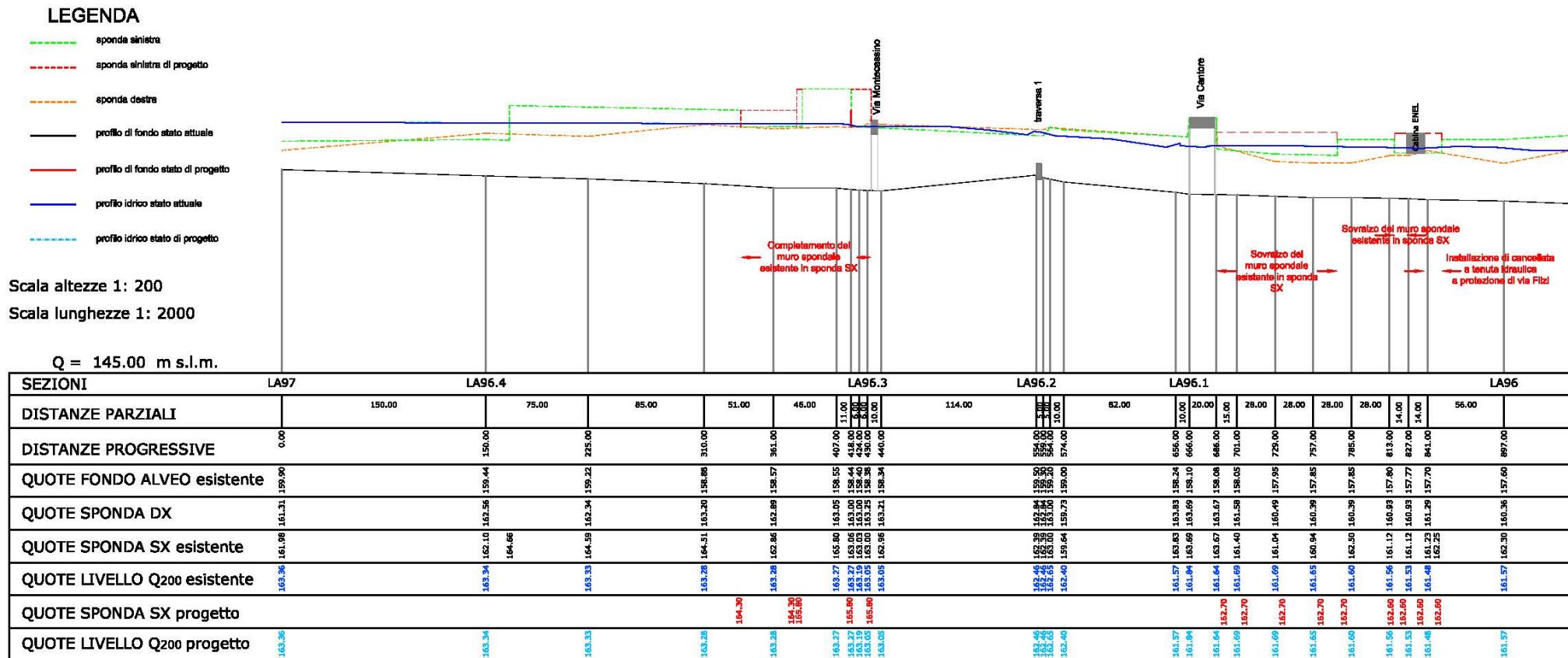


Figura 32 – Stralcio del profilo longitudinale nel tratto compreso tra il Santuario delle Grazie e Via Filzi: confronto tra la configurazione attuale e quella di progetto (in rosso i tratti spondali interessati dagli innalzamenti di progetto)

9 Verifiche di stabilità delle ture

Per garantire la sicurezza dei cantieri posti in corrispondenza della derivazione del Lambretto e tra la traversa di San Gerardino e il ponte di Via De Amicis e lungo il muro di Via Spalto Piodo sarà necessario deviare le portate del Lambretto nel Lambro e viceversa, per la durata dei lavori in tali aree.

La messa in asciutto delle aree oggetto degli interventi in alveo avverrà mediante la posa di blocchi di calcestruzzo di 1 mc di volume a monte del ponte di Via Aliprandi per deviare le acque del Lambro nel Lambretto e a lato della traversa di derivazione del Lambretto per deviare le acque del Lambretto nel Lambro.

La tura avrà un'altezza di 2.0 m dal fondo alveo e sarà tracimabile per portate superiori a 30 mc/s quando posizionata parallelamente alla traversa del Lambretto e per portate superiori quando sarà posizionata a monte del ponte di Via Aliprandi, e sarà realizzata secondo lo schema seguente:

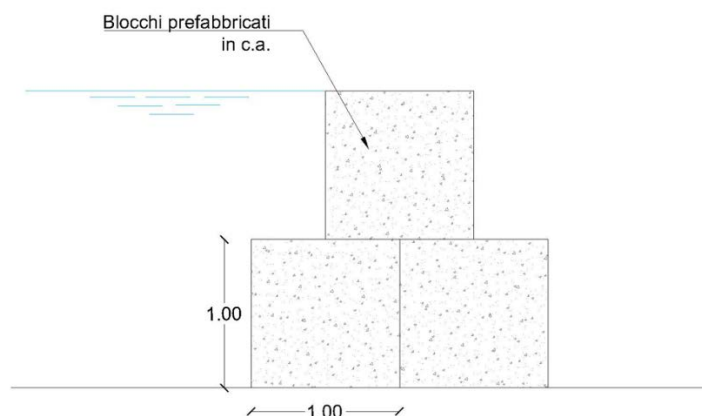


Figura 33 – Schema di posa dei blocchi di calcestruzzo per la formazione delle ture sul Lambro

Le verifiche di stabilità sono state effettuate sia allo scorrimento che al ribaltamento, in ottemperanza al DM 14/01/2008 (NTC-2008), utilizzando i seguenti approcci:

- Stato limite di scorrimento: A1+M1+R3
- Stato limite di ribaltamento: EQU+M2+R2

e considerando i seguenti parametri:

- Peso specifico calcestruzzo: 25'000 N/mc
- Angolo d'attrito calcestruzzo-fondo alveo: 20°
- Peso specifico dell'acqua: 10'000 N/mc
- $Q = 30$ mc/s

Sono state considerate infine due diverse configurazioni:

- A) Tura a monte del ponte di via Aliprandi:
 - $v = 1.32$ m/s
 - $h = 1.5$ m
- B) tura a lato traversa Lambretto:

- $v = 0 \text{ m/s}$
- $h = 2.0 \text{ m}$

9.1 VERIFICHE NELLA CONFIGURAZIONE A

9.1.1 Verifica allo scorrimento globale

Per l'approccio A1+M1+R3 si utilizzano i seguenti coefficienti parziali:

- $\gamma_{G1} = 1.3$
- $\gamma_R = 1.1$
- $\phi = 1$

Le forze agenti in questa configurazione sono la spinta idrostatica, calcolata rispetto a un livello idrico di monte di 1.50 m e la spinta idrodinamica, valutata per $v = 1.32 \text{ m/s}$; le spinte sono state calcolate applicando il coefficiente parziale γ_{G1} , e pertanto:

$$S_1 = 1.3 \cdot 0.5 \cdot 10'000 \cdot 1.5 \cdot 1.5 = 14'625 \text{ N/m}$$

$$S_2 = 1.3 \cdot 0.5 \cdot 1000 \cdot 1.5 \cdot 1.32 \cdot 1.32 = 3398 \text{ N/m}$$

$$E_d = S_1 + S_2 = 18'023 \text{ N/m}$$

Per il calcolo della forza resistente si considera il peso della struttura, dato dal peso di tre blocchi di calcestruzzo = 75'000 N/m, e il peso dell'acqua portata pari a 5'000 N/m.

La forza resistente R_d è valutata considerando un angolo di attrito al contatto calcestruzzo alveo di 20° (coefficiente parziale = 1) e applicando il coefficiente parziale $\gamma_R = 1.1$, e pertanto:

$$R_d = 80'000 \cdot \tan(20) / 1.1 = 26'470 \text{ N/m}$$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.1.2 Verifica allo scorrimento del blocco di sommità

Applicando gli stessi coefficienti parziali di cui al punto precedente si ha:

$$S_1 = 1.3 \cdot 0.5 \cdot 10'000 \cdot 0.5 \cdot 0.5 = 1625 \text{ N/m}$$

$$S_2 = 1.3 \cdot 0.5 \cdot 1000 \cdot 0.5 \cdot 1.32 \cdot 1.32 = 566 \text{ N/m}$$

$$E_d = S_1 + S_2 = 2191 \text{ N/m}$$

$$R_d = 25'000 \cdot \tan(20) / 1.1 = 9100 \text{ N/m}$$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.1.3 Verifica al ribaltamento globale

Per l'approccio EQU+M2+R2 si utilizzano i seguenti coefficienti parziali:

- $\gamma_{G1} = 0.9$ per i carichi permanenti favorevoli, 1.1 per quelli sfavorevoli
- $\gamma_R = 1$

I momenti vengono calcolati rispetto al vertice inferiore destro del blocco di calcestruzzo di base.

Il momento ribaltante $M_{sd} = S_1 \cdot 0.67 + S_2 \cdot 0.75$

$$S_1 = 1.1 \cdot 0.5 \cdot 10'000 \cdot 1.5 \cdot 1.5 = 12'375 \text{ N/m}$$

$$S_2 = 1.1 * 0.5 * 1000 * 1.5 * 1.32 * 1.32 = 1437 \text{ N/m}$$

$$E_d = M_{sd} = 0.67 * 12375 + 0.75 * 958 = 13'812 \text{ N*m/m}$$

Il momento stabilizzante $M_{Rd} = 0.9 * 1 * 80'000 = 72'000 \text{ N*m/m}$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.1.4 Verifica al ribaltamento del blocco di sommità

Applicando gli stessi coefficienti parziali di cui al punto precedente si ha:

$$S_1 = 1.1 * 0.5 * 10'000 * 1.0 * 1.0 = 5500 \text{ N/m}$$

$$S_2 = 1.1 * 0.5 * 1000 * 1 * 1.32 * 1.32 = 958 \text{ N/m}$$

$$E_d = M_{sd} = 0.33 * 5500 + 0.5 * 958 = 2294 \text{ N*m/m}$$

Il momento stabilizzante $M_{Rd} = 0.9 * 0.5 * 25'000 = 11'250 \text{ N*m/m}$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.2 VERIFICHE NELLA CONFIGURAZIONE B

9.2.1 Verifica allo scorrimento globale

Per l'approccio A1+M1+R3 si utilizzano i seguenti coefficienti parziali:

- $\gamma_{G1} = 1.3$
- $\gamma_R = 1.1$
- $\phi = 1$

Le forze agenti in questa configurazione sono la spinta idrostatica, calcolata rispetto a un livello idrico di monte di 2.00 m e in assenza della spinta idrodinamica, poiché la corrente risulta parallela alla tura; la spinta è stata calcolata applicando il coefficiente parziale γ_{G1} , e pertanto:

$$E_d = S_1 = 1.3 * 0.5 * 10'000 * 2 * 2 = 26'000 \text{ N/m}$$

La forza resistente R_d è valutata considerando un angolo di attrito al contatto calcestruzzo alveo di 20° (coefficiente parziale = 1) e applicando il coefficiente parziale $\gamma_R = 1.1$, e pertanto:

$$R_d = 80'000 * \tan(20) / 1.1 = 26'470 \text{ N/m}$$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta.

9.2.2 Verifica allo scorrimento del blocco di sommità

Applicando gli stessi coefficienti parziali di cui al punto precedente si ha:

$$E_d = S_1 = 1.3 * 0.5 * 10'000 * 1 * 1 = 6500 \text{ N/m}$$

$$R_d = 25'000 * \tan(20) / 1.1 = 9100 \text{ N/m}$$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.2.3 Verifica al ribaltamento globale

Il momento ribaltante $M_{sd} = S_1 \cdot 0.67 + S_2 \cdot 0.75$

$$S_1 = 1.1 \cdot 0.5 \cdot 10'000 \cdot 2 \cdot 2 = 22'000 \text{ N/m}$$

$$E_d = M_{sd} = 0.67 \cdot 22'000 = 14'740 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

Il momento stabilizzante $M_{Rd} = 0.9 \cdot 1 \cdot 80'000 = 72'000 \text{ N} \cdot \text{m/m}$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta

9.2.4 Verifica al ribaltamento del blocco di sommità

Applicando gli stessi coefficienti parziali di cui al punto precedente si ha:

$$S_1 = 1.1 \cdot 0.5 \cdot 10'000 \cdot 1.0 \cdot 1.0 = 5500 \text{ N/m}$$

$$E_d = M_{sd} = 0.33 \cdot 5500 = 1815 \text{ N} \cdot \text{m/m}$$

Il momento stabilizzante $M_{Rd} = 0.9 \cdot 0.5 \cdot 25'000 = 11'250 \text{ N} \cdot \text{m/m}$

Risulta $R_d > E_d$ e pertanto la verifica è soddisfatta.

10 Verifica di stabilità del rivestimento in massi dell'argine a valle del pontecanale Villoresi

La difesa in massi del tratto di argine da ripristinare a valle del pontecanale Villoresi è da realizzare con massi di peso superiore a 3 ton ($d > 1.30 \text{ m}$).

Il dimensionamento dei massi a difesa della sponda sinistra è stato verificato in accordo con la teoria di Stevens et al. (1976): dopo accurata analisi dei momenti delle forze agenti sull'elemento solido, sono giunti alle seguenti espressioni utili per la determinazione del diametro d'equilibrio su sponda inclinata.

$$\sigma = \frac{0.3 \cdot u_r^2}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma_w} - 1 \right) \cdot g \cdot d_m}$$

$$\beta = \arctan \left(\frac{\cos \lambda}{\frac{\sin \vartheta}{\sigma \cdot \tan \varphi} + \sin \lambda} \right)$$

$$\sigma' = \sigma \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$\text{F.S.} = \frac{\cos \vartheta \cdot \tan \varphi}{\sigma' \cdot \tan \varphi + \sin \vartheta \cos \beta}$$

In cui:

d_m diametro del masso; avendo assunto massi di peso non inferiore a 3 ton risulta essere pari a

1.3 m;

F.S. coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto P di rotazione, dato dal rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti e il momento risultante delle forze instabilizzanti;

ϑ è la pendenza della scarpata = 50° ;

φ è l'angolo di riposo in acqua dei massi = 60° ;

β è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

λ è l'angolo diedro tra il piano orizzontale e il piano inclinato costituente il fondo dell'alveo ($\tan \lambda = i = \text{pendenza del fondo}$) = 9° nel tratto maggiormente sollecitato;

σ e σ' sono i cosiddetti numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata e orizzontale

u_r è la velocità della corrente contro il masso, che in condizioni di scabrezza macroscopica, in cui cioè $y/d_m < 6$ come nel caso in esame essendo $y = 5.10$ m e $d = 1.3$ m, può essere assunta pari a v (velocità della corrente), e quindi risulta pari a 2.24 m/s per Q_{200} .

Sostituendo i dati di progetto nelle formule precedenti si ottiene:

$$\sigma = 0.074$$

$$\beta = 4.85^\circ$$

$$\sigma' = 0.04$$

$$F.S. = 1.34$$

La verifica risulta quindi essere soddisfatta.

Milano ottobre 2015

IL PROGETTISTA

Dott. ing. Stefania Meucci

11 APPENDICE 1 - Tabulati dei calcoli idraulici nella configurazione attuale per la portata Q200 e profilo longitudinale

11.1 FIUME LAMBRO

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
5610	LA97	126.7	159.9	163.36	161.91	163.38	0.0002	0.86	468.24	328.3	0.16
5460		126.7	159.44	163.34	161.57	163.35	0.000166	0.74	467.06	257.35	0.14
5459		126.7	159.44	163.33	161.57	163.35	0.000195	0.77	399.93	187.18	0.15
5385	LA96.4	126.73	159.22	163.32	161.35	163.33	0.000149	0.7	439.41	190.02	0.13
5254		126.73	158.88	163.28	160.94	163.32	0.000196	0.98	382.47	213.23	0.17
5253		126.73	158.88	163.28	160.94	163.31	0.000189	0.97	399.81	293.83	0.17
5238.34		126.73	158.57	163.28	160.63	163.3	0.000126	0.83	499.44	339.77	0.14
5238.33		126.73	158.57	163.27	160.63	163.3	0.000139	0.87	449.06	220.66	0.14
5216.34		126.73	158.55	163.26	160.56	163.3	0.000138	0.89	429.9	222.77	0.15
5216.33		126.73	158.55	163.27	160.56	163.29	0.000127	0.86	468.6	311	0.14
5209		126.73	158.44	163.27	160.43	163.29	0.000112	0.82	491.55	304.39	0.13
5203		126.73	158.41	163.24	160.4	163.29	0.000175	1.02	159.51	109.8	0.16
5198	LA96.3	173.09	158.39	163.19	160.68	163.28	0.00034	1.42	155.98	107.96	0.23
5192		Bridge									
5191		173.09	158.38	163.05	160.67	163.16	0.000392	1.49	142.25	107.51	0.25
5181		173.09	158.34	163.05	160.63	163.15	0.000375	1.47	146.44	107.51	0.24
5180		173.09	158.34	163.05	160.63	163.15	0.000376	1.47	146.39	107.51	0.24
5124		173.09	159.2	163.05	161.32	163.12	0.000391	1.5	450.4	246.09	0.25
5072		173.09	159.5	162.45	161.82	163.01	0.002981	3.3	52.52	23.52	0.67
5067	LA96.2	173.39	159.2	162.71	160.13	162.74	0.000105	0.79	220.47	63.08	0.13
5066		Inl Struct									
5062	LA96.2 BIS	213.26	159.2	162.65	160.27	162.7	0.000169	0.98	216.51	63.09	0.17
5052		213.26	159	162.39	160.96	162.67	0.00092	2.4	113.03	39.24	0.42
4970		213.26	158.24	161.55	161.17	162.44	0.005051	4.18	51	18.4	0.8
4960	LA96.1	173.09	158.1	161.83	160.72	162.27	0.002175	2.95	58.73	18.4	0.53
4940		Bridge									
4939		173.09	158.08	161.63	160.7	162.12	0.002599	3.13	55.35	18.4	0.58
4924		173.09	158.05	161.67	160.86	162.05	0.002171	2.77	85.22	68.93	0.58
4896.14		173.09	157.95	161.67	160.31	161.99	0.001283	2.59	109.14	74.79	0.45
4868.28		173.09	157.85	161.63	160.21	161.95	0.001237	2.58	99.55	74.79	0.44
4840.42		173.09	157.85	161.58	160.21	161.92	0.001325	2.64	95.44	74.79	0.46
4812.57		173.09	157.8	161.54	160.16	161.88	0.001482	2.61	69.31	32.07	0.48
4800		173.09	157.77	161.51	160.13	161.86	0.001494	2.61	69.03	32.05	0.48
4799		173.09	157.77	161.51	160.12	161.85	0.001516	2.61	75.87	74.79	0.48
4784.71		173.09	157.7	161.46	160.09	161.83	0.001681	2.69	64.71	25.99	0.51
4783		173.09	157.7	161.46	160.1	161.83	0.001685	2.7	64.66	25.97	0.51
4729	LA96	173.1	157.6	161.56	159.85	161.71	0.000656	1.88	103.63	43.93	0.31
4563		173.1	156.96	161.27	159.12	161.46	0.000701	1.96	88.46	22.2	0.31
4558	LA95.5	173.1	156.94	161.26	159.1	161.46	0.000692	1.95	88.85	22.2	0.31
4543		Bridge									
4542		173.1	157.11	161.04	159.27	161.28	0.000581	2.16	80.16	22.2	0.36
4527		173.1	157.42	160.29	159.95	161.2	0.003379	4.21	41.14	15.23	0.82
4489		79.93	157.63	160.83	158.93	160.93	0.000319	1.43	55.83	17.51	0.26
4484	LA95.4	81.93	157.61	160.82	158.93	160.93	0.000331	1.46	56.06	17.51	0.26
4478		Bridge									
4477		81.93	157.65	160.77	158.97	160.89	0.00036	1.5	54.54	17.51	0.27
4467		81.93	157.68	160.77	159	160.89	0.000372	1.52	53.9	17.51	0.28
4441		81.93	157.76	160.63	159.34	160.86	0.000848	2.12	38.67	13.71	0.4
4381		81.93	158	160.16	159.75	160.74	0.003	3.35	24.42	11.3	0.73
4362		81.93	158	159.75	159.75	160.63	0.00569	4.15	19.72	11.3	1
4361	LA95.3	81.93	158.03	159.24	159.61	160.57	0.036678	5.11	16.02	33.19	2.35
4353	LA95.3BIS	81.93	156.4	159.78	157.17	159.8	0.000047	0.63	130.04	38.49	0.11
4343		81.93	156.35	159.72	157.51	159.79	0.000193	1.18	69.73	20.71	0.2
4310		81.93	156.23	159.73	157.34	159.78	0.000124	0.98	83.77	26.63	0.17

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
4305	LA95.2.1	81.93	156.21	159.73	157.32	159.78	0.000122	0.97	84.31	27.21	0.17
4300		Bridge									
4299		81.93	156.2	159.7	157.31	159.75	0.000124	0.98	83.86	26.71	0.17
4289		81.93	156.17	159.7	157.28	159.75	0.000121	0.97	84.66	27.58	0.17
4288		81.93	156.17	159.7	157.28	159.75	0.000112	0.94	92.33	41.51	0.16
4224		81.93	156.18	159.52	158.04	159.72	0.000632	2.02	44.26	21.14	0.36
4138		81.93	155.77	159.62	157.12	159.65	0.000084	0.81	125.13	70.91	0.14
4137		81.93	155.77	159.58	157.12	159.64	0.000152	1.08	76.1	21.02	0.18
4127	LA95.2	85.93	155.74	159.58	157.13	159.64	0.000164	1.12	76.57	21.02	0.19
4115		Bridge									
4114		85.93	155.75	159.29	157.13	159.37	0.000211	1.22	70.39	21.02	0.21
4099		85.93	155.76	159.29	157.15	159.37	0.000214	1.23	70.11	21.01	0.21
3994		85.93	155.84	159.18	157.35	159.32	0.000456	1.7	50.6	15.33	0.3
3979	LA95.1	99.93	155.85	159.1	157.51	159.31	0.000667	2.03	49.26	15.33	0.36
3964		Bridge									
3963		99.93	155.86	158.79	157.53	159.05	0.000909	2.25	44.35	15.32	0.42
3943		99.93	155.88	158.76	157.54	159.03	0.000955	2.29	43.62	15.32	0.43
3868	LA95	99.93	155.96	158.03	157.86	158.84	0.004347	4	24.99	12.1	0.89
3785		99.93	155.83	157.95	157.51	158.47	0.002567	3.21	31.12	14.7	0.7
3784		99.93	155.83	157.95	157.51	158.47	0.002582	3.22	31.07	14.7	0.71
3779	LA94.6	99.93	155.82	157.93	157.5	158.46	0.002593	3.22	31.02	14.7	0.71
3774		Bridge									
3773		99.93	155.77	157.94	157.45	158.44	0.002386	3.13	31.89	14.7	0.68
3763		99.93	155.73	157.93	157.41	158.41	0.002308	3.1	32.24	14.7	0.67
3711		99.93	155.41	157.78	157.29	158.3	0.002356	3.19	31.32	14.31	0.69
3659		99.93	155.09	157.75	156.96	158.18	0.001746	2.9	34.42	13.46	0.58
3658		99.93	155.06	157.74	156.94	158.17	0.001711	2.88	34.64	13.46	0.57
3657		Bridge									
3656		99.93	155.03	157.39	156.91	157.95	0.002572	3.31	30.19	13.43	0.7
3655		99.93	155	157.38	156.9	157.93	0.002518	3.29	30.4	13.43	0.7
3654		99.93	154.97	157.44	156.78	157.9	0.001995	3	33.29	13.92	0.62
3644	LA94.5	99.93	154.9	157.45	156.7	157.88	0.001797	2.9	34.47	13.92	0.59
3631		Bridge									
3630		99.93	154.6	157.41	156.4	157.76	0.002487	2.62	38.09	13.92	0.51
3620		99.93	154.33	157.45	156.14	157.73	0.001812	2.36	42.42	13.92	0.43
3615		99.93	154.21	157.43	156.2	157.73	0.001969	2.41	41.46	14	0.45
3605	LA94.4	100.93	153.97	157.46	155.97	157.71	0.001565	2.24	45.16	14	0.4
3580		Bridge									
3579		100.93	153.83	157.21	155.83	157.48	0.001726	2.31	43.67	14	0.42
3564		100.93	154.7	157.12	156.4	157.45	0.002294	2.55	42.72	21.7	0.55
3513		Lat Struct									
3512		66.6	154.58	157.3	155.61	157.35	0.000277	1	72.25	40.7	0.2
3511		66.6	154.58	157.3	155.61	157.35	0.000277	1	72.24	40.7	0.2
3510	LA94.3	66.6	156	156.94	156.9	157.31	0.00772	2.72	27.88	40.7	0.92
3500	LA94.3BIS	66.6	153.3	157.19	154.2	157.21	0.00007	0.65	118.75	40.7	0.11
3484		66.6	152.53	157.07	154.53	157.19	0.000724	1.61	52.29	17.61	0.25
3474	LA94.2.1	66.6	152.52	157.06	154.52	157.19	0.000722	1.61	52.34	17.61	0.25
3462		Bridge									
3461		66.6	152.49	157.07	154.49	157.15	0.000329	1.31	53.06	17.61	0.2
3446		215	152.7	156.97	154.78	157.14	0.000364	1.85	136.08	45.83	0.3
3281		215	151.97	156.6	154.69	157	0.001159	2.81	76.39	17.32	0.43
3266	LA94.2	211.62	151.93	156.59	154.62	156.98	0.001097	2.75	77.02	17.32	0.42
3250		211.62	151.92	156.58	154.62	156.96	0.001103	2.75	76.89	17.32	0.42
3235		211.62	151.92	156.56	154.61	156.95	0.001113	2.76	76.64	17.32	0.42
3012	LA94.1	212.97	151.9	155.42	155.01	156.47	0.003885	4.55	49.06	17.33	0.81
2715	LA94	218.37	152.01	155.63	153.92	155.81	0.000957	1.86	117.37	38.25	0.34

River Sta	ID AIPO	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
2701		Inl Struct									
2700	LA94BIS	217.92	151.83	155.09	153.94	155.39	0.002295	2.44	89.14	36.31	0.5
2622	LA93.4	216.5	150.93	154.96	153.3	155.21	0.001757	2.23	96.98	37.04	0.44
2425		216.5	149.55	154.66	152.7	154.9	0.001229	2.2	98.28	25.19	0.36
2415	LA93.3	215.76	149.48	154.65	152.62	154.89	0.001162	2.16	99.92	25.21	0.35
2405		Bridge									
2404		215.76	149.46	154.48	152.6	154.74	0.001301	2.24	96.22	25.17	0.37
2394		215.76	149.45	154.47	152.59	154.73	0.001305	2.24	96.13	25.16	0.37
1989	LA93.2	233.01	148.86	153.39	152.63	153.44	0.000582	1.53	286.8	298.17	0.26
1780	LA93.1	173.45	149.16	153	151.31	153.01	0.000051	0.43	761.4	704.46	0.08
1700	LA93	173.4	148.63	152.69	151.53	152.97	0.002142	2.46	73.64	829.01	0.47
805	LA92	225.23	146.8	149.92	149.92	151	0.009099	4.64	49.24	426.45	0.98
392	LA91.3	256.54	146.72	149.45	148.39	149.61	0.001281	2.01	189.26	103.65	0.39
367	LA91.3BIS	230.79	143.75	149.52	145.73	149.57	0.000163	1.02	297.59	87.3	0.15
336		230.79	143.22	149.49	145.7	149.56	0.000239	1.2	193.06	38.01	0.17
326	LA91.2.2	228.97	143.05	149.49	145.52	149.56	0.000213	1.15	199.62	38.27	0.16
312		Bridge									
311		228.97	143.03	149.43	145.5	149.5	0.000218	1.16	197.97	38.2	0.16
297		228.97	143	149.42	145.47	149.49	0.000215	1.15	199.02	38.24	0.16
296		228.97	142.93	149.29	146.19	149.48	0.000707	1.91	120.07	24.7	0.28
281	LA91.2.1	227.29	142.98	149.28	146.22	149.47	0.000723	1.92	118.51	24.65	0.28
259		Bridge									
258		227.29	143.02	149.13	146.27	149.33	0.000813	2	113.84	24.51	0.3
233		227.29	143.06	149.1	146.32	149.31	0.000849	2.03	112.2	24.45	0.3
0	LA91.2	294.73	143.48	147.52	147.52	148.84	0.009402	5.09	57.9	21.95	1

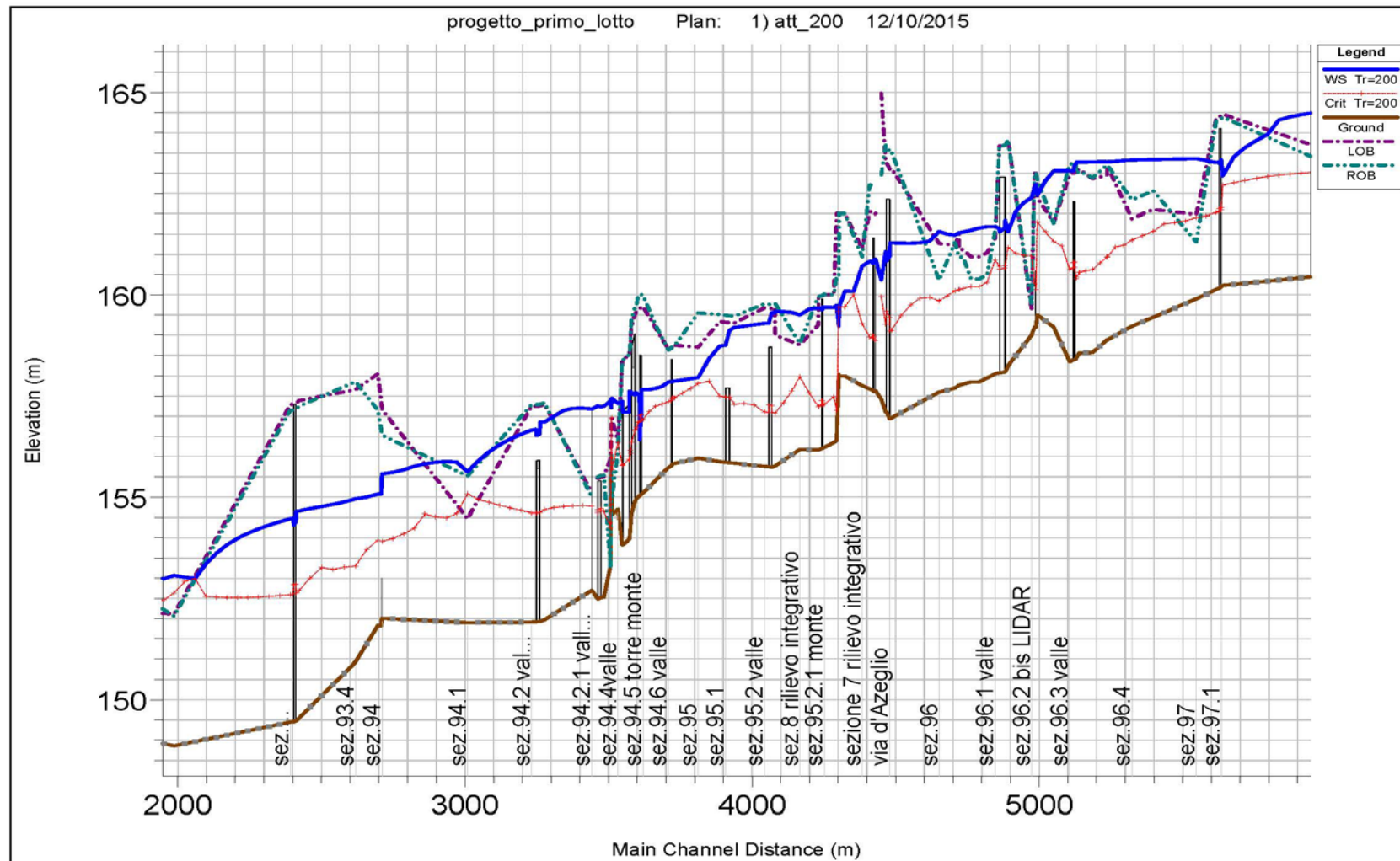


Figura 34 - Profilo longitudinale del Lambro tra il Santuario delle Grazie e il pontecanale Villorresi nella configurazione attuale per Tr=200 anni

11.2 LAMBRETTO

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1202	LA94.3.9	93.07	157.46	160.8	159.48	160.93	0.000425	1.62	57.59	23.1	0.33
1200		93.07	157.46	160.8	159.48	160.93	0.000425	1.62	57.57	23.1	0.33
1196		Bridge									
1195	LA94.3.9bis	93.07	157.45	160.79	159.47	160.92	0.000421	1.61	57.74	23.1	0.33
1192		93.07	157.45	160.79	159.47	160.92	0.000419	1.61	57.83	23.1	0.32
1191		93.07	157.45	160.83	158.66	160.91	0.000169	1.24	75.2	22.3	0.22
1129		93.07	156.72	160.77	158.69	160.89	0.000279	1.57	79.03	59.79	0.27
1119	LA94.3.8	93.07	156.6	160.77	158.57	160.89	0.000244	1.5	86.5	59.79	0.25
1107		Bridge									
1106		93.07	156.55	160.72	158.52	160.84	0.000243	1.5	86.68	59.79	0.25
1091		93.07	156.48	160.72	158.46	160.83	0.000226	1.47	90.89	59.79	0.24
1023		93.07	156.19	160.64	158.44	160.79	0.000376	1.82	112.64	83.09	0.28
1013	LA94.3.7	93.07	156.15	160.64	158.4	160.78	0.000359	1.79	115.99	83.09	0.28
998		Bridge									
997		93.07	156.15	160.6	158.4	160.75	0.000377	1.82	112.45	83.09	0.28
982		93.07	156.15	160.59	158.4	160.74	0.00038	1.83	111.9	83.09	0.28
886		93.07	156.15	160.58	158.35	160.7	0.000319	1.68	152.57	106.69	0.26
876	LA94.3.6	93.07	156.15	160.58	158.35	160.69	0.00032	1.68	152.14	106.69	0.26
866		Bridge									
865		93.07	156.22	160.53	158.42	160.66	0.000373	1.78	139.34	106.69	0.28
855		93.07	156.3	160.51	158.5	160.65	0.000427	1.88	128.31	106.69	0.3
830		93.07	156.5	160.37	158.64	160.63	0.000659	2.27	53.04	39.29	0.38
820	LA94.3.5.2	93.07	156.58	160.34	158.72	160.62	0.00074	2.36	48.67	39.29	0.4
810		Bridge									
809		93.07	156.55	160.08	158.69	160.41	0.000943	2.55	39.69	39.29	0.44
799		107.07	156.52	159.9	158.85	160.38	0.001445	3.07	34.83	10.91	0.55
783		107.07	156.47	159.88	158.76	160.36	0.001429	3.06	34.98	10.61	0.54
778	LA94.3.5.1	107.07	156.45	159.88	158.75	160.35	0.00141	3.05	35.15	10.61	0.53
773		Bridge									
772		107.07	156.38	159.36	158.68	159.99	0.002121	3.52	30.44	10.61	0.66
767		107.07	156.38	159.35	158.68	159.98	0.00216	3.54	30.24	10.61	0.67
757		107.07	156.18	159.48	158.37	159.87	0.001165	2.78	38.5	12.62	0.51
747	LA94.3.5	107.07	156.05	159.49	158.24	159.85	0.001021	2.66	40.31	12.62	0.47
734		Bridge									
733		107.07	156	159.08	158.19	159.54	0.001442	2.99	35.78	12.62	0.57
718		107.07	155.94	159.07	158.13	159.51	0.00137	2.94	36.41	12.62	0.55
614		107.07	155.52	158.99	157.59	159.26	0.000747	2.31	46.33	14.73	0.42
609	LA94.3.4	107.07	155.5	158.99	157.57	159.25	0.000734	2.3	46.61	16.08	0.41
604		Bridge									
603		107.07	155.51	158.97	157.58	159.25	0.00075	2.31	46.27	14.73	0.42
598		114.07	155.52	158.91	157.67	159.24	0.00091	2.52	45.23	14.72	0.46
536		114.07	155.63	158.69	157.67	159.15	0.001388	3.01	37.93	12.42	0.55
516	LA94.3.3	114.07	155.67	158.62	157.72	159.12	0.00154	3.12	36.6	12.42	0.58
486		Bridge									
485		114.07	155.48	158.4	157.53	158.91	0.001584	3.15	36.24	12.42	0.59
455		114.07	155.3	158.4	157.35	158.85	0.001338	2.97	38.42	12.42	0.54
332		114.07	154.51	158.45	156.8	158.66	0.000529	2.05	65.13	53.48	0.36
327	LA94.3.2	114.07	154.48	158.45	156.77	158.65	0.000512	2.03	66.78	53.8	0.35
322		Bridge									
321		114.07	154.51	158.32	156.8	158.55	0.000608	2.14	58.46	52.15	0.38
316		114.07	154.52	158.31	156.81	158.55	0.000619	2.15	57.65	51.99	0.38

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
311		114.07	154.58	158.27	156.88	158.54	0.000715	2.31	55.68	85.64	0.42
301	LA94.3.1.2	114.07	154.67	158.23	156.97	158.52	0.002262	2.42	47.43	49.17	0.45
291		Bridge									
290		114.07	154.62	157.75	156.92	158.16	0.00357	2.82	40.4	15.62	0.56
280		114.07	154.58	157.71	156.88	158.12	0.003549	2.82	40.48	15.62	0.56
129		114.07	154.2	157.42	155.92	157.65	0.001644	2.16	55.74	53.15	0.39
124	LA94.3.1.1	114.07	154.15	157.41	155.87	157.64	0.001582	2.13	56.28	52.96	0.38
116		Bridge									
115		114.07	154.1	157.04	155.82	157.33	0.002184	2.37	48.16	16.58	0.44
105		114.07	154.05	157.03	155.78	157.31	0.002116	2.34	48.67	16.58	0.44
87		114.07	152.82	157.16	154.85	157.23	0.000364	1.19	106.97	71.34	0.21
69.1	LA94.3.1	148.4	151.58	157.18	153.72	157.22	0.000141	0.86	205.14	83.08	0.13
69		148.4	151.58	157.18	153.72	157.22	0.000141	0.86	205.13	83.06	0.13
68		148.4	153.63	157.09	156.09	157.21	0.000508	1.54	105.97	76.92	0.37
59	LA943.1.BIS	148.4	151.58	157.15	153.72	157.18	0.000145	0.87	202.28	78.8	0.14
37	LA94.3	148.4	152.13	157.15	153.6	157.18	0.000105	0.81	234.77	94.98	0.12
26	LA94.3.BIS	148.4	152.2	157.14	153.73	157.18	0.000114	0.83	214.33	81.28	0.13
0	LA94.2	148.4	152.8	157.11	154.52	157.17	0.00026	1.19	165.04	58.52	0.19

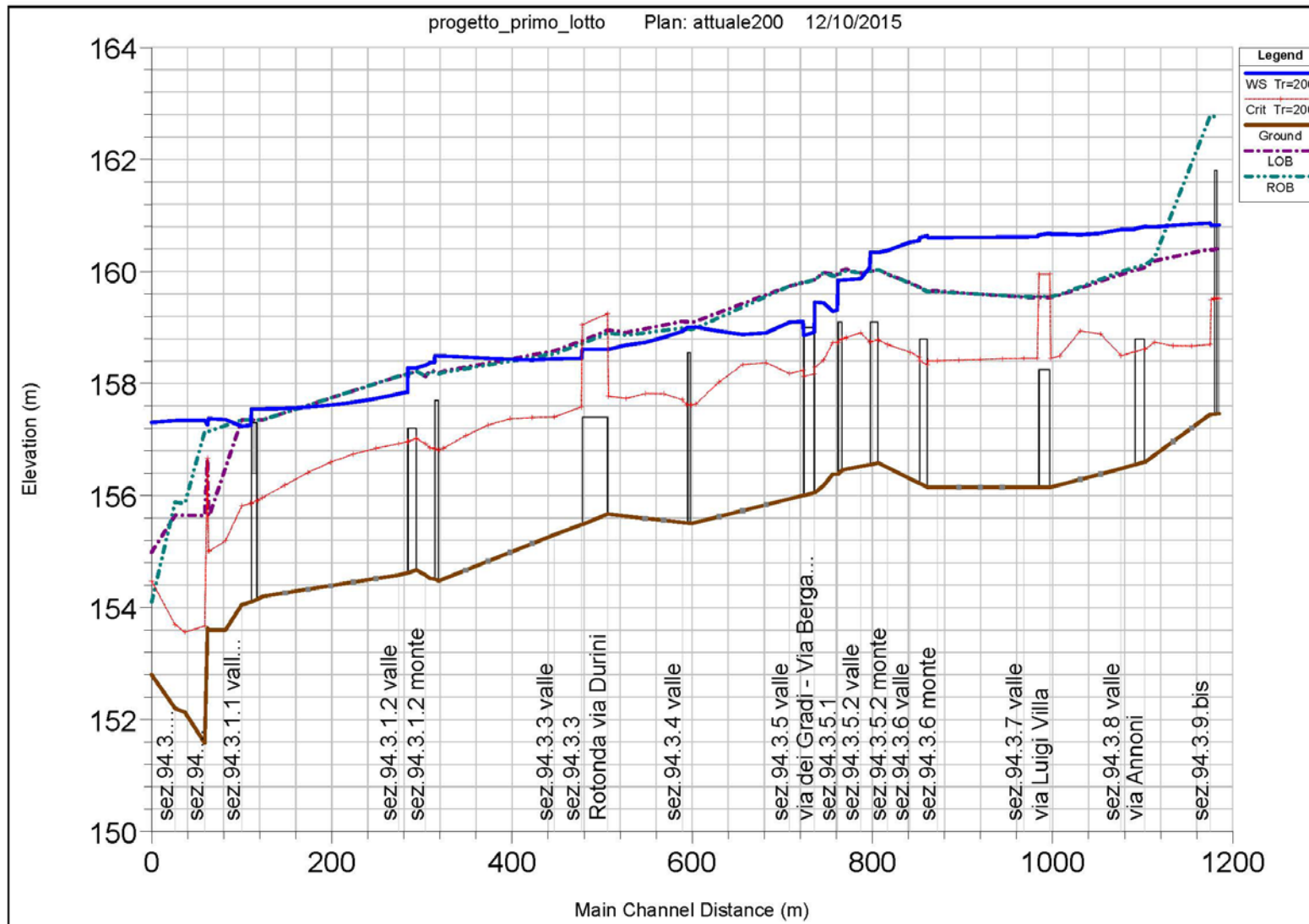


Figura 35 – Profilo longitudinale del Lambretto nella configurazione attuale per Tr=200 anni

12 APPENDICE 2 - Tabulati dei calcoli idraulici nella configurazione di progetto per la portata Q200

12.1 FIUME LAMBRO

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
5610	LA97	126.7	159.9	163.31	161.91	163.38	0.0002	0.86	468.24	328.3	0.16
5460		126.7	159.44	163.31	161.57	163.35	0.000166	0.74	467.06	257.35	0.14
5459		126.7	159.44	163.30	161.57	163.35	0.000195	0.77	399.93	187.18	0.15
5385	LA96.4	126.73	159.22	163.25	161.35	163.33	0.000149	0.7	439.41	190.02	0.13
5254		126.73	158.88	163.25	160.94	163.32	0.000196	0.98	382.47	213.23	0.17
5253		126.73	158.88	163.25	160.94	163.31	0.000189	0.97	399.81	293.83	0.17
5238.34		126.73	158.57	163.25	160.63	163.3	0.000126	0.83	499.44	339.77	0.14
5238.33		126.73	158.57	163.24	160.63	163.3	0.000139	0.87	449.06	220.66	0.14
5216.34		126.73	158.55	163.24	160.56	163.3	0.000138	0.89	429.9	222.77	0.15
5216.33		126.73	158.55	163.24	160.56	163.29	0.000127	0.86	468.6	311	0.14
5209		126.73	158.44	163.24	160.43	163.29	0.000112	0.82	491.55	304.39	0.13
5203		126.73	158.41	163.21	160.4	163.29	0.000175	1.02	159.51	109.8	0.16
5198	LA96.3	173.09	158.39		160.68	163.28	0.00034	1.42	155.98	107.96	0.23
5192		Bridge		163.06							
5191		173.09	158.38	163.06	160.67	163.16	0.000392	1.49	142.26	107.51	0.25
5181		173.09	158.34	163.05	160.63	163.15	0.000375	1.47	146.44	107.51	0.24
5180		173.09	158.34	163.05	160.63	163.15	0.000376	1.47	146.4	107.51	0.24
5124		173.09	159.2	162.46	161.32	163.12	0.000391	1.5	450.42	246.09	0.25
5072		173.09	159.5	162.72	161.82	163.01	0.00298	3.3	52.52	23.53	0.67
5067	LA96.2	173.39	159.2		160.13	162.74	0.000105	0.79	220.47	63.08	0.13
5066		Inl Struct		162.66							
5062	LA96.2 BIS	213.26	159.2	162.40	160.27	162.7	0.000169	0.98	216.52	63.09	0.17
5052		213.26	159	161.58	160.96	162.67	0.00092	2.4	113.03	39.24	0.42
4970		213.26	158.24	161.85	161.17	162.44	0.005048	4.18	51.01	18.4	0.8
4960	LA96.1	173.09	158.1		160.72	162.27	0.002174	2.95	58.74	18.4	0.53
4940		Bridge		161.65							
4939		173.09	158.08	161.67	160.7	162.13	0.002597	3.13	55.36	18.4	0.58
4924		173.09	158.05	161.66	160.86	162.05	0.00217	2.77	85.25	68.93	0.58
4896.14		173.09	157.95	161.63	160.31	161.99	0.001282	2.59	109.18	74.79	0.45
4868.28		173.09	157.85	161.58	160.21	161.95	0.001237	2.58	99.58	74.79	0.44
4840.42		173.09	157.85	161.56	160.21	161.92	0.001324	2.64	95.48	74.79	0.46
4812.57		173.09	157.8	161.53	160.16	161.88	0.001481	2.6	69.33	32.07	0.48
4800		173.09	157.77	161.53	160.13	161.86	0.001493	2.61	69.05	32.05	0.48
4799		173.09	157.77	161.48	160.12	161.85	0.001515	2.61	75.91	74.79	0.48
4784.71		173.09	157.7	161.48	160.09	161.83	0.00168	2.69	64.73	25.99	0.51
4783		173.09	157.7	161.57	160.1	161.83	0.001684	2.7	64.67	25.97	0.51
4729	LA96	173.1	157.6	161.29	159.85	161.71	0.000656	1.88	103.66	43.93	0.31
4563		173.1	156.96	161.28	159.12	161.46	0.000701	1.96	88.47	22.2	0.31
4558	LA95.5	173.1	156.94		159.1	161.46	0.000692	1.95	88.87	22.2	0.31
4543		Bridge		161.07							
4542		173.1	157.11	160.36	159.27	161.28	0.000581	2.16	80.18	22.2	0.36
4527		173.1	157.42	160.88	159.95	161.2	0.003369	4.2	41.18	15.23	0.82
4489		80	157.63	160.87	158.93	160.93	0.000319	1.43	55.85	17.51	0.26
4484	LA95.4	82	157.61		158.93	160.93	0.000331	1.46	56.09	17.51	0.26
4478		Bridge		160.83							
4477		82	157.65	160.83	158.97	160.89	0.00036	1.5	54.56	17.51	0.27
4467		82	157.68	160.71	159	160.89	0.000373	1.52	53.92	17.51	0.28
4441		82	157.76	160.09	159.34	160.86	0.000848	2.12	38.69	13.71	0.4
4381		82	158	159.70	159.75	160.74	0.003	3.36	24.43	11.3	0.73
4362		82	158	159.23	159.75	160.63	0.005687	4.16	19.73	11.3	1
4361	LA95.3	82	158.03	159.74	159.61	160.57	0.036688	5.12	16.03	33.19	2.35
4353	LA95.3BIS	82	156.4	159.68	157.17	159.8	0.000047	0.63	130.07	38.49	0.11
4343		82	156.35	159.69	157.52	159.79	0.000193	1.18	69.74	20.71	0.2
4310		82	156.23	159.69	157.34	159.78	0.000124	0.98	83.79	26.65	0.17

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
4305	LA95.2.1	82	156.21		157.32	159.78	0.000122	0.97	84.33	27.23	0.17
4300		Bridge		159.67							
4299		82	156.2	159.67	157.31	159.75	0.000124	0.98	83.88	26.73	0.17
4289		82	156.17	159.67	157.28	159.75	0.000121	0.97	84.67	27.6	0.17
4288		82	156.17	159.50	157.28	159.75	0.000112	0.94	92.36	41.51	0.16
4224		82	156.18	159.59	158.04	159.72	0.000633	2.02	44.26	21.14	0.36
4138		82	155.77	159.56	157.12	159.65	0.000084	0.82	125.17	70.91	0.14
4137		82	155.77	159.55	157.12	159.64	0.000152	1.08	76.11	21.02	0.18
4127	LA95.2	86	155.74		157.13	159.64	0.000164	1.12	76.58	21.02	0.19
4115		Bridge		159.29							
4114		86	155.75	159.29	157.14	159.37	0.000212	1.22	70.4	21.02	0.21
4099		86	155.76	159.19	157.15	159.37	0.000214	1.23	70.11	21.01	0.21
3994		86	155.84	159.12	157.35	159.32	0.000456	1.7	50.6	15.33	0.3
3979	LA95.1	100	155.85		157.52	159.31	0.000668	2.03	49.26	15.33	0.36
3964		Bridge		158.75							
3963		100	155.86	158.73	157.53	159.08	0.00087	2.22	45.03	15.32	0.41
3943		100	155.88	157.96	157.54	159.07	0.000912	2.26	44.32	15.32	0.42
3868	LA95	100	155.96	157.87	157.87	158.9	0.003307	3.65	27.4	12.1	0.77
3785		100	155.83	157.87	157.51	158.62	0.001831	2.87	34.82	14.7	0.6
3784		100	155.83	157.85	157.51	158.62	0.001837	2.87	34.79	14.7	0.6
3779	LA94.6	100	155.82		157.5	158.61	0.001835	2.87	34.8	14.7	0.6
3774		Bridge		157.86							
3773		100	155.77	157.85	157.45	158.59	0.001718	2.81	35.57	14.7	0.58
3763		100	155.73	157.69	157.41	158.57	0.001656	2.78	36.01	14.7	0.57
3711		100	155.41	157.66	157.3	158.49	0.001567	2.78	35.91	14.32	0.56
3659		100	155.09	157.66	156.96	158.41	0.001224	2.57	38.85	13.5	0.48
3658		100	155.06		156.94	158.41	0.0012	2.56	39.11	13.5	0.48
3657		Bridge		157.55							
3656		100	155.03	157.54	156.92	158.3	0.00135	2.66	37.55	13.48	0.51
3655		100	155	157.58	156.9	158.29	0.001323	2.65	37.8	13.48	0.5
3654		100	154.97	157.59	156.78	158.27	0.00111	2.46	40.59	13.92	0.46
3644	LA94.5	100	154.9		156.71	158.26	0.001027	2.4	41.69	13.92	0.44
3631		Bridge		157.59							
3630		100	154.6	157.62	156.41	158.17	0.001504	2.21	45.24	13.92	0.39
3620		100	154.33	157.60	156.14	158.15	0.001171	2.03	49.32	13.92	0.34
3615		100	154.21	157.62	156.21	158.15	0.001247	2.06	48.51	14.01	0.35
3605	LA94.4	101	153.97		155.98	158.14	0.001038	1.94	52.07	14.01	0.32
3580		Bridge		157.37							
3579		101	153.83	157.32	155.84	157.85	0.001187	2.03	49.69	14.01	0.34
3564		101	154.7		156.46	157.82	0.001436	2.42	51.68	21.7	0.46
3512		101	154.58	157.44	155.89	157.75	0.000402	1.32	87	40.7	0.25
3511		101	154.58	157.44	155.89	157.75	0.000402	1.32	86.98	40.7	0.25
3510		101	156	157.22	157.16	157.7	0.00831	3.27	36.98	40.7	0.99
3500	LA94.3	101	153.3	157.38	154.49	157.49	0.000128	0.93	129.19	40.7	0.15
3484	LA94.3BIS	101	152.53	157.25	155.09	157.46	0.001528	2.37	54.32	17.61	0.36
3474		101	152.52	157.24	155.07	157.44	0.001535	2.37	54.22	17.61	0.36
3461	LA94.2.1	101	152.49		155.04	157.4	0.000651	1.87	55.85	17.61	0.28
3446		215	152.7	157.25	154.78	157.38	0.000292	1.73	150.85	56.01	0.27
3281		215	151.97	157.18	154.69	157.28	0.000942	2.62	82.13	17.32	0.38
3266		211.62	151.93	156.86	154.62	157.26	0.000892	2.56	82.78	17.33	0.37
3251		Bridge		156.86							
3250	LA94.2	211.62	151.92		154.62	156.96	0.001103	2.75	76.89	17.32	0.42
3235		211.62	151.92	156.68	154.61	156.95	0.001113	2.76	76.64	17.32	0.42
3012		212.97	151.9	156.66	155.01	156.47	0.003885	4.55	49.06	17.33	0.81
2715	LA94.1	218.37	152.01	155.63	153.92	155.81	0.000957	1.86	117.37	38.25	0.34
2701	LA94	Inl Struct		155.57							

River Sta	ID AIPO	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
2700		217.92	151.83		153.94	155.39	0.002295	2.44	89.14	36.31	0.5
2622	LA94BIS	216.5	150.93	155.07	153.3	155.21	0.001757	2.23	96.98	37.04	0.44
2425	LA93.4	216.5	149.55	154.96	152.7	154.9	0.001229	2.2	98.28	25.19	0.36
2415		215.76	149.48	154.65	152.62	154.89	0.001162	2.16	99.92	25.21	0.35
2405	LA93.3	Bridge		154.65							
2404		215.76	149.46		152.6	154.74	0.001301	2.24	96.22	25.17	0.37
2394		215.76	149.45	154.49	152.59	154.73	0.001305	2.24	96.13	25.16	0.37
1989		233.01	148.86	154.47	152.63	153.44	0.000582	1.53	286.8	298.17	0.26
1780	LA93.2	173.45	149.16	153.07	151.31	153.01	0.000051	0.43	761.4	704.46	0.08
1700	LA93.1	173.4	148.63	150.83	151.53	152.97	0.002142	2.46	73.64	829.01	0.47
805	LA93	225.23	146.8	151.45	149.92	151	0.009099	4.64	49.24	426.45	0.98
392	LA92	256.54	146.72	149.91	148.39	149.61	0.001281	2.01	189.26	103.65	0.39
367	LA91.3	230.79	143.75	149.47	145.73	149.57	0.000163	1.02	297.59	87.3	0.15
336	LA91.3BIS	230.79	143.22	149.54	145.7	149.56	0.000239	1.2	193.06	38.01	0.17
326		228.97	143.05	149.50	145.52	149.56	0.000213	1.15	199.62	38.27	0.16
312	LA91.2.2	Bridge		149.50							
311		228.97	143.03		145.5	149.5	0.000218	1.16	197.97	38.2	0.16
297		228.97	143	149.44	145.47	149.49	0.000215	1.15	199.02	38.24	0.16
296		228.97	142.93	149.44	146.19	149.48	0.000707	1.91	120.07	24.7	0.28
281		227.29	142.98	149.31	146.22	149.47	0.000723	1.92	118.51	24.65	0.28
259	LA91.2.1	Bridge		149.29							
258		227.29	143.02		146.27	149.33	0.000813	2	113.84	24.51	0.3
233		227.29	143.06	149.14	146.32	149.31	0.000849	2.03	112.2	24.45	0.3
0	LA91.2	294.73	143.48	149.12	147.52	148.84	0.009402	5.09	57.9	21.95	1

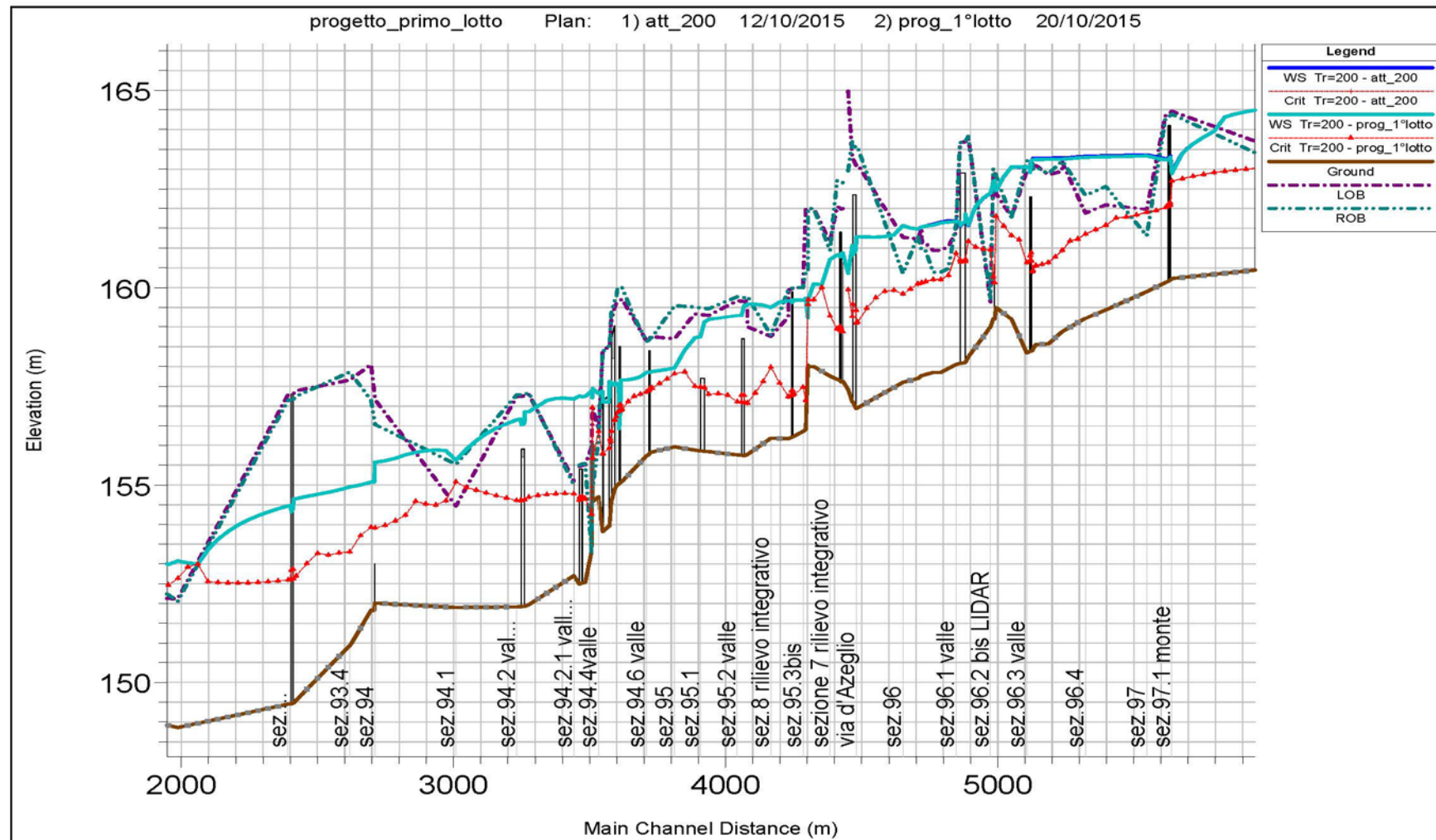


Figura 36 – Profilo longitudinale fiume Lambro tra il Santuario delle Grazie e il pontecanale Villorresi: confronto tra la configurazione di progetto e lo stato attuale Tr=200 anni

12.2 LAMBRETTO

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
1202	LA94.3.9	93	157.46	160.8	159.48	160.93	0.000424	1.62	57.59	23.1	0.33
1200		93	157.46	160.79	159.48	160.93	0.000425	1.62	57.57	23.1	0.33
1196		Bridge									
1195	LA94.3.9bis	93	157.45	160.79	159.47	160.92	0.000421	1.61	57.74	23.1	0.33
1192		93	157.45	160.79	159.47	160.92	0.000419	1.61	57.83	23.1	0.32
1191		93	157.45	160.83	158.67	160.91	0.000169	1.24	75.19	22.3	0.22
1129		93	156.72	160.77	158.69	160.89	0.000278	1.57	79.01	59.79	0.27
1119	LA94.3.8	93	156.6	160.77	158.57	160.88	0.000244	1.5	86.49	59.79	0.25
1107		Bridge									
1106		93	156.55	160.72	158.52	160.83	0.000243	1.5	86.63	59.79	0.25
1091		93	156.48	160.72	158.45	160.83	0.000226	1.47	90.85	59.79	0.24
1023		93	156.19	160.64	158.43	160.79	0.000376	1.82	112.58	83.09	0.28
1013	LA94.3.7	93	156.15	160.64	158.39	160.78	0.000359	1.79	115.93	83.09	0.28
998		Bridge									
997		93	156.15	160.6	158.39	160.74	0.000377	1.82	112.39	83.09	0.28
982		93	156.15	160.59	158.39	160.74	0.000379	1.83	111.85	83.09	0.28
886		93	156.15	160.58	158.34	160.69	0.000319	1.68	152.5	106.69	0.26
876	LA94.3.6	93	156.15	160.58	158.34	160.69	0.00032	1.68	152.07	106.69	0.26
866		Bridge									
865		93	156.22	160.53	158.42	160.66	0.000373	1.78	139.27	106.69	0.28
855		93	156.3	160.51	158.5	160.65	0.000427	1.88	128.25	106.69	0.3
830		93	156.5	160.37	158.64	160.63	0.000658	2.27	53.02	39.29	0.38
820	LA94.3.5.2	93	156.58	160.34	158.72	160.62	0.000739	2.36	48.65	39.29	0.4
810		Bridge									
809		93	156.55	160.08	158.69	160.41	0.000942	2.54	39.7	39.29	0.44
799		107	156.52	159.9	158.85	160.38	0.001443	3.07	34.83	10.91	0.55
783		107	156.47	159.88	158.77	160.36	0.001427	3.06	34.98	10.61	0.54
778	LA94.3.5.1	107	156.45	159.88	158.75	160.35	0.001408	3.04	35.15	10.61	0.53
773		Bridge									
772		107	156.38	159.37	158.68	159.99	0.002117	3.51	30.44	10.61	0.66
767		107	156.38	159.35	158.68	159.98	0.002156	3.54	30.25	10.61	0.67
757		107	156.18	159.48	158.37	159.87	0.001163	2.78	38.51	12.62	0.51
747	LA94.3.5	107	156.05	159.49	158.24	159.85	0.001019	2.65	40.31	12.62	0.47
734		Bridge									
733		107	156	159.08	158.19	159.54	0.001436	2.99	35.81	12.62	0.57
718		107	155.94	159.07	158.13	159.51	0.001365	2.94	36.44	12.62	0.55
614		107	155.52	158.99	157.59	159.26	0.000743	2.31	46.4	14.86	0.41
609	LA94.3.4	107	155.5	158.99	157.57	159.25	0.000729	2.29	46.69	16.5	0.41
604		Bridge									
603		107	155.51	158.98	157.58	159.25	0.000745	2.31	46.36	14.73	0.42
598		114	155.52	158.92	157.67	159.24	0.000904	2.52	45.32	14.72	0.46
536		114	155.63	158.7	157.68	159.16	0.001376	3	38.03	12.42	0.55
516	LA94.3.3	114	155.67	158.63	157.72	159.12	0.001524	3.11	36.71	12.42	0.58
486		Bridge									
485		114	155.48	158.43	157.53	158.93	0.001541	3.12	36.57	12.42	0.58
455		114	155.3	158.43	157.35	158.87	0.001304	2.94	38.75	12.42	0.53
332		114	154.51	158.47	156.79	158.68	0.000513	2.03	66.62	53.77	0.35
327	LA94.3.2	114	154.48	158.47	156.77	158.68	0.000496	2.01	68.28	54.09	0.35
322		Bridge									
321		114	154.51	158.36	156.79	158.58	0.000583	2.11	60.39	52.54	0.37
316		114	154.52	158.35	156.81	158.58	0.000593	2.13	59.59	52.38	0.38
311		114	154.58	158.31	156.88	158.57	0.000682	2.28	59.13	86.35	0.41
301	LA94.3.1.2	114	154.67	158.27	156.97	158.56	0.002152	2.39	49.53	51.69	0.44

River Sta	ID AIPO	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
291		Bridge									
290		114	154.62	157.84	156.92	158.22	0.003231	2.73	41.75	15.62	0.53
280		114	154.58	157.81	156.88	158.18	0.003196	2.72	41.91	15.62	0.53
129		114	154.2	157.56	155.92	157.77	0.001381	2.03	63.71	58.63	0.36
124	LA94.3.1.1	114	154.15	157.55	155.87	157.76	0.001331	2.01	64.28	58.48	0.35
116		Bridge									
115		114	154.1	157.28	155.83	157.53	0.001724	2.19	52.12	16.6	0.39
105		114	154.05	157.27	155.78	157.51	0.001668	2.16	52.71	16.59	0.39
87		114	152.82	157.39	154.84	157.44	0.000281	1.09	125.87	92.49	0.18
69.1	LA94.3.1	114	151.58	157.41	153.48	157.43	0.000067	0.61	225.17	87	0.09
69		114	151.58	157.41	153.48	157.43	0.000067	0.61	225.17	87	0.09
68		114	153.63	157.38	155.84	157.43	0.000178	1.01	130.35	88.3	0.22
59	LA943.1.BIS	114	151.58	157.4	153.48	157.42	0.000068	0.62	224	87	0.09
37	LA94.3	114	152.13	157.4	153.4	157.41	0.00005	0.57	258.74	94.98	0.08
26	LA94.3.BIS	114	152.2	157.4	153.52	157.41	0.000054	0.59	235	81.28	0.09
0	LA94.2	114	152.8	157.38	154.27	157.41	0.000127	0.87	183.04	74.88	0.13