

 <b>COMUNE DI MERONE</b> PROVINCIA DI COMO														
<b>Affinamento depurativo a valle del depuratore in Comune di Merone (CO)</b>														
LIFE11 ENVIT/004 	 <b>fondazione cariplo</b>	 <b>Regione Lombardia</b>												
														
<b>PROGETTO DEFINITIVO</b>														
<b>RELAZIONE IDROLOGICO - IDRAULICA</b>														
Capofila progetto:  <b>IRIDRA S.r.l.</b> Via La Marmora, 51 50121 FIRENZE tel. 055470729 - fax 055475593 Email: iridra@iridra.com - www.iridra.com	in A.T.I. con:  <b>STUDIO MAIONE</b> INGEGNERI ASSOCIATI  <b>BIOSES</b> INNOVAZIONE - SOSTENIBILITÀ  <b>Studio Frati</b> geologia applicata	COMMITTENTE:  <b>PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO</b> 20844 Tiggole (MB) - Via Vittorio Veneto, 19												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">3</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">2</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1</td> <td></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">REV.</td> <td style="text-align: center;">DETERMINAZIONE DELLA PRESSIONE</td> </tr> </table>	3		2		1		REV.	DETERMINAZIONE DELLA PRESSIONE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;">N. ELABORATO</td> <td style="width: 50%; text-align: center;">N. TAVOLA</td> </tr> <tr> <td colspan="2" style="text-align: center; font-size: 2em; font-weight: bold;">E1 01.4</td> </tr> </table>		N. ELABORATO	N. TAVOLA	E1 01.4	
3														
2														
1														
REV.	DETERMINAZIONE DELLA PRESSIONE													
N. ELABORATO	N. TAVOLA													
E1 01.4														
REDATTO: Geom. Ivano Filippini VERIFICATO: dott.ing. Nicola Martinuzzi DATA: OTTOBRE 2014	PROGETTISTI: Dott. ing. Nicola Martinuzzi Dott. ing. Riccardo Bresciani Dott. ing. Giuliano Trentini Dott. Ing. Denis Cerlini Dott. agr. Giordano Fossi Dott. Giulio Conte													
COORDINAMENTO PROGETTUALE Dott. ing. Nicola Martinuzzi IL DIRETTORE TECNICO: Dr. Fabio Masi COLLABORATORI: Ing. Marina Simonetti, Ing. Roberta Romiti Ing. Alessandro Balbo, Ing. Paolo Arcuri Geol. Stefano Frati, Arch. Barbara Bonadies														
														

## Indice della Relazione

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE .....</b>	<b>4</b>
<b>3. INQUADRAMENTO NORMATIVO-IDRAULICO: IL PAI.....</b>	<b>5</b>
<b>4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO .....</b>	<b>7</b>
<b>5. SINTESI DELLO STUDIO LAMBRO-OLONA DELL'AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO .....</b>	<b>8</b>
<b>6. AGGIORNAMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO .....</b>	<b>13</b>
6.1 DESCRIZIONE TOPOGRAFICA DELL'ALVEO.....	13
6.2 IL CODICE DI CALCOLO MIKE 11 .....	14
6.3 MODELLAZIONE "QUASI-BIDIMENSIONALE" .....	15
6.4 COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....	16
6.5 CONDIZIONI AL CONTOURNO .....	16
6.6 SIMULAZIONI EFFETTUATE E RISULTATI OTTENUTI .....	18
6.6.1 Stato di fatto .....	18
6.6.2 Configurazione di progetto.....	19
6.7 QUOTE DI DIFESA RIFERITE AL SISTEMA DI RIFERIMENTO DEL RILIEVO DEL DEPURATORE .....	23
<b>7. CONCLUSIONI .....</b>	<b>24</b>
<b>8. ALLEGATI .....</b>	<b>25</b>

## 1. PREMESSA

Regione Lombardia nell'ambito del parere sul progetto preliminare numero T1.2013.0050190 del 16/12/2013 ha evidenziato che *“nel progetto presentato non è sufficientemente dettagliato il rischio idraulico cui è soggetta l'area di intervento. E' necessario, pertanto, redigere uno studio idraulico di dettaglio (anche mediante rilievi in loco) che verifichi l'effettiva esondabilità delle aree oggetto di intervento con particolare riguardo alla zona a valle della vasca di accumulo ove è prevista la realizzazione del sistema di finissaggio che potrebbe essere significativamente compromessa da eventi alluvionali intensi”*

Il presente elaborato descrive quindi gli approfondimenti idrologici ed idraulici, effettuati in risposta a tale richiesta.

Attraverso lo studio idraulico è stato possibile raggiungere i seguenti obiettivi:

- Definire le condizioni attuali di rischio idraulico dell'area su cui sorgerà l'impianto;
- Definire le opere necessarie alla messa in sicurezza dell'impianto in relazione alle esondazioni del Lambro, in particolare dei sistemi areati e dei manufatti di alimentazione che rappresentano le parti più sensibili dell'impianto;
- Valutare la compatibilità delle opere di difesa previste con la pianificazione esistente sul Lambro da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po nonché con le condizioni di rischio a monte e valle dell'intervento che non devono risultare incrementate dalla realizzazione delle opere.

Per il conseguimento di questi obiettivi è stato implementato un modello idrologico-idraulico “quasi bidimensionale” del fiume Lambro, atto a determinare i livelli di piena in corrispondenza delle opere in progetto nello stato di fatto e nella configurazione di progetto. Tale modello si configura come aggiornamento locale di maggior dettaglio di quanto già fatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po, nell'ambito dello *“Studio di fattibilità della sistemazione dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona”* (nel seguito studio Lambro-Olona)."

Nei paragrafi successivi si descrivono le principali risultanze degli studi pregressi, con particolare riferimento allo *“Studio di fattibilità della sistemazione dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona”* (nel seguito studio Lambro-Olona) e gli approfondimenti condotti nell'ambito della presente progettazione definitiva.

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Gli interventi previsti dal seguente progetto sono situati nei comuni di Merone, in provincia di Como, e nel comune di Costa Masnaga in provincia di Lecco. In questo territorio scorre il Fiume Lambro che, dopo l'uscita dal lago di Pusiano e l'immissione dell'emissario del Lago di Alserio, scorre lungo tutta la Brianza assumendo un andamento tortuoso ai piedi delle colline moreniche tipiche del paesaggio brianzolo.



Figura 1 – Inquadramento territoriale dell'area

Il fiume Lambro in questo tratto ha un andamento abbastanza sinuoso e la naturalità dell'area ha permesso la meandricazione e la creazione di lanche, aree umide naturali e fasce boscate lungo le sponde fluviali. In questo tratto il Lambro presenta alveo e sponde naturali caratterizzate da una ricca vegetazione riparia spontanea rappresentata da specie autoctone e alloctone.

Sulla sponda destra è presente il depuratore di Merone che scarica nel fiume Lambro sia le acque provenienti dal trattamento, sia le acque di sfioro dello scaricatore di testa del depuratore.



### 3. INQUADRAMENTO NORMATIVO-IDRAULICO: IL PAI

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) oggi vigente inserisce gran parte delle opere in progetto a tergo di un **"limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C"**, fascia comunemente chiamata **B di progetto**, che risulta quasi interamente coincidente con la sponda destra del corso d'acqua, e in parte minore all'esterno della fascia C così come riportato nella figura seguente.

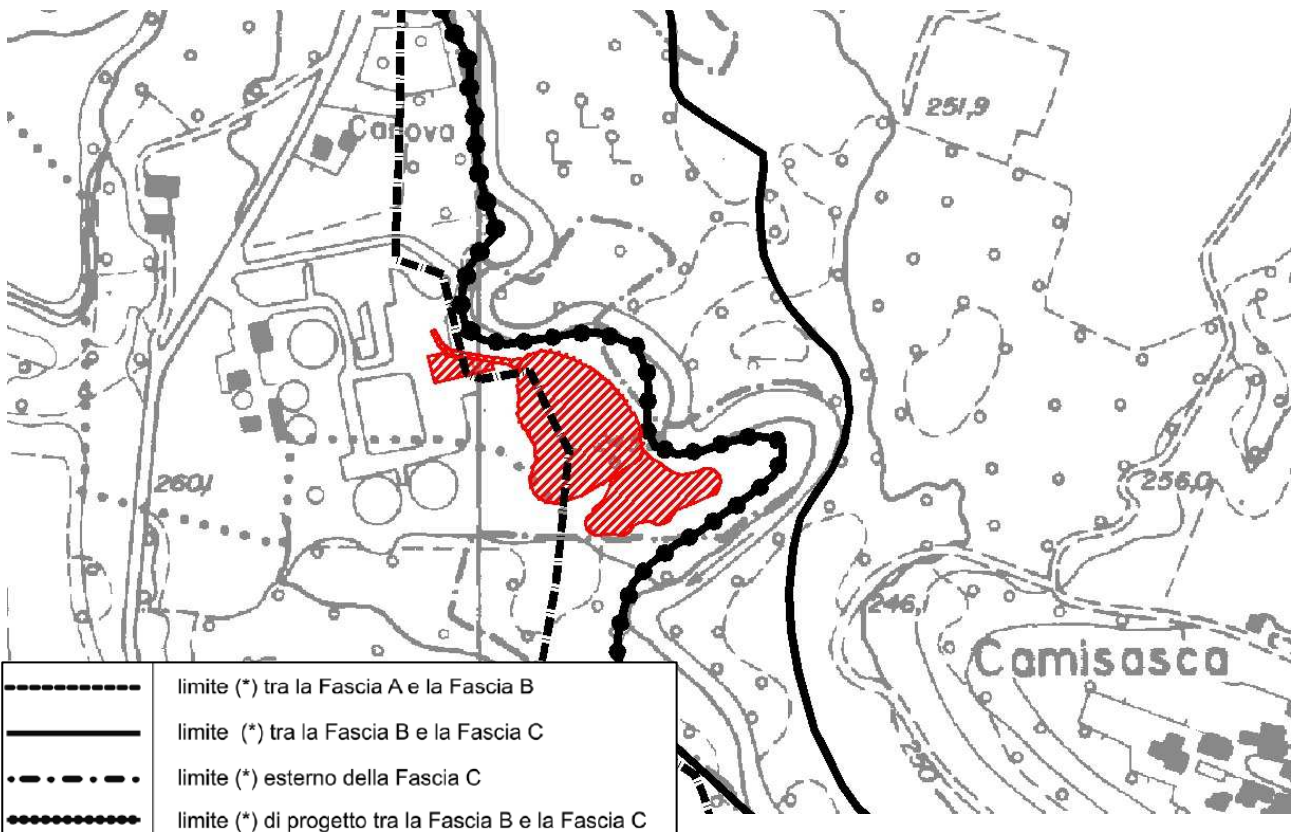


Figura 2 – Delimitazione delle fasce fluviali all'interno del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) (in rosso l'area dove sorgeranno gli impianti)

Come specificato all'articolo 28 comma 1 del PAI  
" [...]

*Il Piano indica con apposito segno grafico, denominato "limite di progetto tra la Fascia B e la Fascia C", le opere idrauliche programmate per la difesa del territorio. Allorché dette opere saranno realizzate, i confini della Fascia B si intenderanno definiti in conformità al tracciato dell'opera idraulica eseguita e la delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino di presa d'atto del collaudo dell'opera varrà come variante automatica del presente Piano per il tracciato di cui si tratta.  
[...]*"

Pertanto attualmente l'area oggetto di intervento ricade in fascia B, fino alla realizzazione delle opere di difesa previste nel tratto che ne sanciranno il passaggio in fascia C.

All'interno della fascia B come previsto dalle Norme Tecniche di Attuazione del PAI all'articolo 30 comma 3b è consentito l'ampliamento degli impianti di depurazione esistenti fermo restando quanto riportato ai successivi articoli 38 e 38bis.

In particolare l'art. 38 al comma 1 stabilisce che:

“ [...]

*Fatto salvo quanto previsto agli artt. 29 e 30, all'interno delle Fasce A e B è consentita la realizzazione di opere pubbliche o di interesse pubblico, riferite a servizi essenziali non altrimenti localizzabili, a condizione che non modifichino i fenomeni idraulici naturali e le caratteristiche di particolare rilevanza naturale dell'ecosistema fluviale che possono aver luogo nelle fasce, che non costituiscano significativo ostacolo al deflusso e non limitino in modo significativo la capacità di invaso, e che non concorrano ad incrementare il carico insediativo. A tal fine i progetti devono essere corredati da uno studio di compatibilità, che documenti l'assenza dei suddetti fenomeni e delle eventuali modifiche alle suddette caratteristiche, da sottoporre all'Autorità competente, così come individuata dalla direttiva di cui la comma successivo, per l'espressione di parere rispetto la pianificazione di bacino.*

[...] ”

Le opere in progetto pertanto sono compatibili con il piano vigente e le verifiche condotte nel presente documento sono volte come detto anche a dimostrare che tali opere non limitano in modo significativo la capacità di invaso e non aggravano le condizioni di sicurezza del territorio circostante-. Come si vedrà inoltre meglio nel seguito, il progetto prevede anche la realizzazione di un'arginatura a protezione dei sistemi areati che si configura per tipologia, e quota di difesa come attuazione, in questo tratto, di quanto previsto nel piano di Bacino. Si ritiene che pertanto a seguito di tale realizzazione l'area dei sistemi areati possa essere classificata , come previsto all'articolo 28 comma 1, come area in fascia C.

Si ribadisce come in ogni caso le opere siano compatibili anche con le norme di fascia B.

#### 4. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un sistema di fitodepurazione a corredo dell'impianto di depurazione del comune di Merone. Il sistema di trattamento prevede il seguente schema:

1. stazione di sollevamento, necessaria per realizzare i pre-trattamenti ad una quota di maggiore sicurezza e per l'attraversamento della tubazione di scarico del depuratore senza ricorrere a sifoni; portata massima 1430 m<sup>3</sup>/h;
2. grigliatura medio-fine (maglia 6 mm) delle acque di pioggia mediante due filtro-coclea di capacità massima 200 l/s in parallelo installate su due canali in cemento armato, oltre ad un canale di emergenza provvisto di griglia manuale; ogni canale è selezionabile a mezzo di paratoie manuali;
3. dissabbiatura mediante n°2 dissabbiatori longitudinali aerati in parallelo dimensionati su 200 l/s cadauno, muniti di coclee per l'estrazione, la disidratazione e la compattazione delle sabbie;
4. stazione di sollevamento delle acque di prima pioggia (munita di 4 pompe da 100 l/s ognuna con mandata separata e collegata ad un bacino di fitodepurazione, Q<sub>max</sub> 400 l/s) per alimentazione del sistema di fitodepurazione a flusso sommerso verticale aerato;
5. sistema di fitodepurazione a flusso sommerso verticale aerato, modificato per acque di pioggia, di estensione pari a 4000 m<sup>2</sup> e suddiviso in due bacini da 2000 m<sup>2</sup>, a sua volta suddivisi in due settori da 1000 m<sup>2</sup>;
6. sistema di fitodepurazione a flusso libero da 1500 m<sup>2</sup> avente anche la funzione di favorire l'inserimento paesaggistico e la creazione di biotopi umidi ad elevata biodiversità, collegabile ai percorsi di fruizione della zona.
7. opere di ripulitura, riqualificazione e potenziamento della fascia ripariale mediante inserimento di specie idonee, con l'obiettivo anche di compensare le superfici di bosco interessate dai lavori.

Per garantire la sicurezza idraulica in particolare delle aree su cui sorgeranno le opere descritte ai punti 1, 2, 3, 4, e 5, è necessario prevedere opere che da un lato consentano il contenimento dei livelli del fiume Lambro per eventi con tempo di ritorno almeno duecentennale, e dall'altro blocchino i fenomeni di erosione di sponda destre del Lambro che potrebbero nel tempo pregiudicare la stabilità delle opere. Il controllo dell'erosione verrà ottenuto mediante opere di ingegneria naturalistica quali scogliere rinverdite, mantellate o palizzate vive. L'arginatura necessaria per il contenimento dei livelli duecentennali con adeguato franco si può configurare, come detto al paragrafo precedente, come attuazione degli interventi previsti dal PAI in questo tratto.

## 5. SINTESI DELLO STUDIO LAMBRO-OLONA DELL'AUTORITA' DI BACINO DEL FIUME PO

Nell'ambito dello *"Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro-Olona"* (2004), è stato definito l'assetto idraulico attuale e di progetto del fiume Lambro, adottando come modello di simulazione idrologica ed idraulica il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute descritto nel successivo paragrafo 6.2. Per le verifiche idrauliche del presente progetto definitivo è stato utilizzato il medesimo codice di calcolo.

Tale software è in grado, attraverso diversi moduli, di integrare il modello afflussi – deflussi con la propagazione dell'onda di piena lungo il Lambro. Il modello idrologico-idraulico AdbPo, ha permesso quindi di riprodurre contemporaneamente i diversi meccanismi di formazione delle piene nei sottobacini urbani ed extraurbani e i fenomeni di esondazione che si sviluppano lungo l'alveo del fiume.

Nell'ambito dello Studio Lambro-Olona 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. Vengono di seguito descritte le principali peculiarità relative al modello ed ai risultati ottenuti per la caratterizzazione della dinamica fluviale del primo tratto del fiume Lambro, per la parte che interessa le opere oggetto della presente progettazione, nella configurazione di stato di fatto e nella configurazione di progetto per eventi con Tr 10, 200 e 500 anni.

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 con il modello idraulico dell'asta principale.

Nelle successive figure si riporta la schematizzazione idrologico-idraulica adottata nello Studio Lambro-Olona relativamente al tratto a ridosso del comune di Merone.

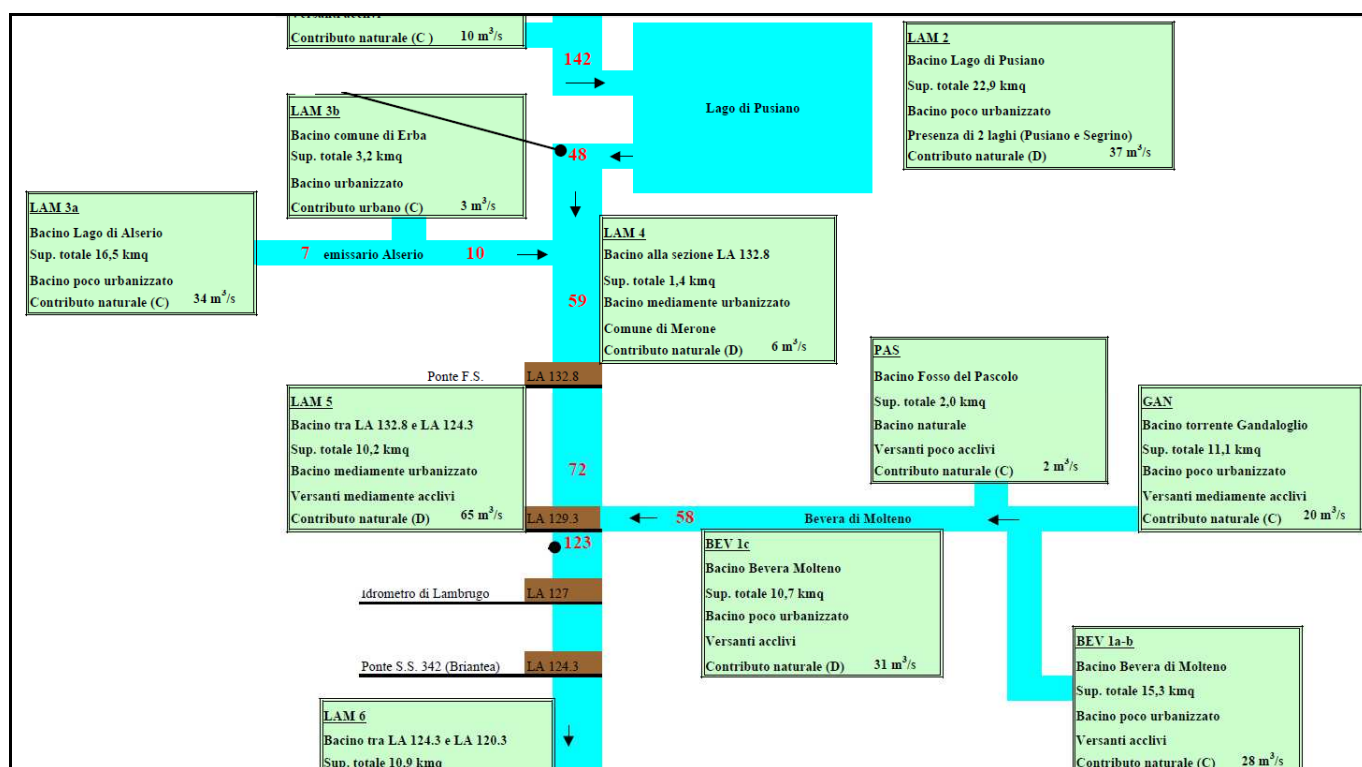


Figura 3 – Schema idrologico-idraulico nel tratto di interesse adottato nel modello di simulazione dello studio Lambro-Olona (fonte AdBPo)

Le onde di piena confluenti nel Lambro sono state introdotte 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.

Il fiume Lambro, nel suo tratto nord del quale fa parte l'area oggetto del presente progetto, scorre principalmente in un alveo abbastanza incassato, salvo alcune zone in cui si verificano aree di allagamento in terreni naturali (Lambrugo, Inverigo, Veduggio, Briosco, ecc.); in tale tratto il livello di urbanizzazione è basso;

Sulla base della schematizzazione idrologico-idraulica descritta, tramite la modellazione lo studio Lambro-Olona ha determinato gli idrogrammi di piena in ingresso alle 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. Nella successiva Tabella 5 vengono, viceversa, riportati per alcune sezioni caratteristiche, i livelli e le portate al colmo nello stato attuale al momento dello studio, per diversi tempi di ritorno (10, 200 e 500 anni).

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
LA 129.2	confluenza Bevera Molteno	243.19	30	244.32	120	244.65	165
LA 127	Ponte via Dante – Costa Masnaga	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

L'analisi dei regimi nel tratto di interesse indica che buona parte del profilo idrico del fiume Lambro è in corrente lenta comandata, come detto, dalle sezioni di controllo poste a valle. In particolare lungo il tratto compreso 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; per cui si verificano aree di allagamento conseguenti a tale insufficienza generalizzata anche nell'area oggetto di intervento

**Nel tratto in corrispondenza del depuratore di Merone la portata di piena duecentennale calcolata con il modello è pari a circa 120 m<sup>3</sup>/s con un livello idrico pari a circa 243.50 m s.l.m.** Gli allagamenti che si verificano in questo tratto sono riportati nella figura seguente:

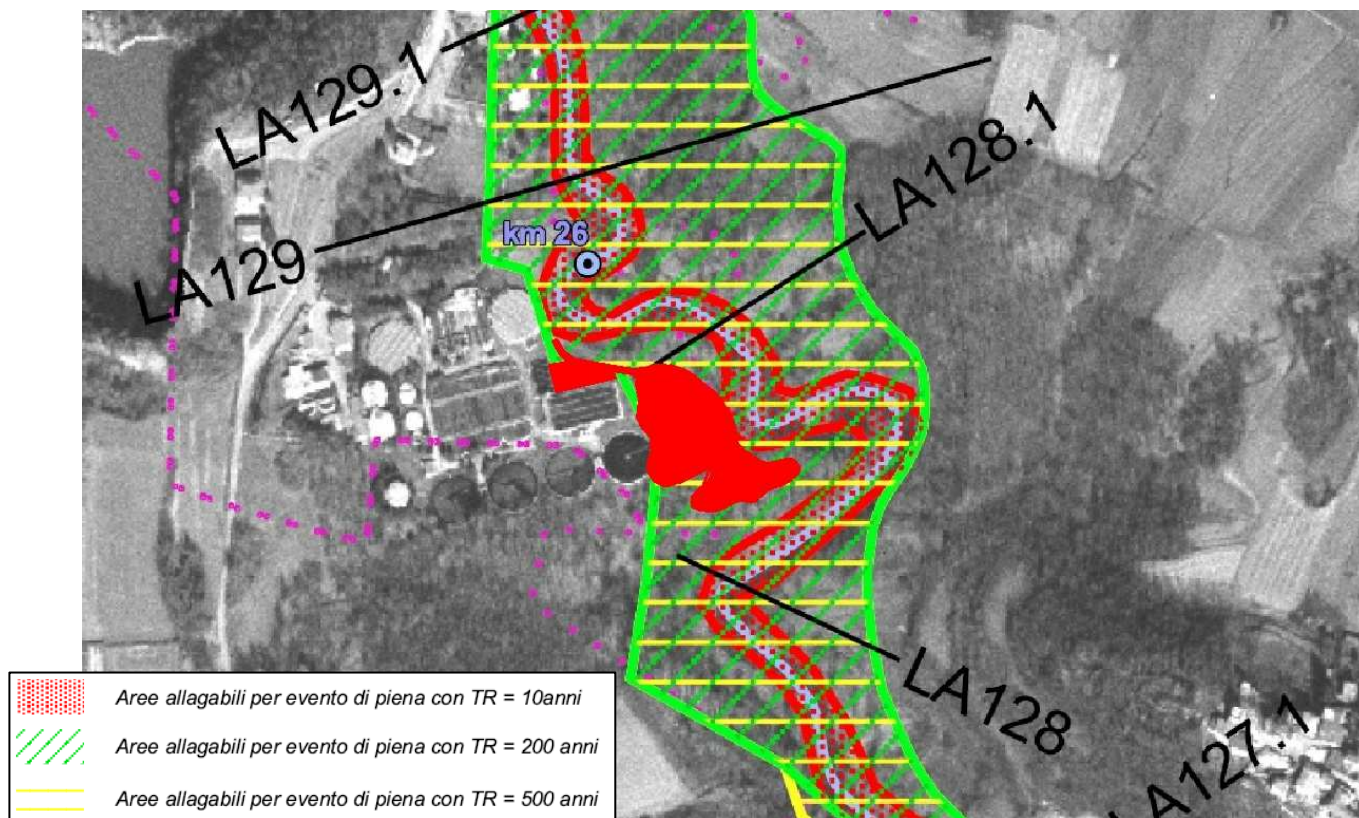


Figura 4 – Allagamenti fiume Lambro in corrispondenza del depuratore di Merone (fonte AdBPo) (in rosso l'area dove sorgeranno gli impianti)

Sempre nell'ambito del citato studio, sulla base delle criticità evidenziate nella caratterizzazione dello stato di fatto, è stato definito un assetto di progetto volto a definire gli interventi atti a risolvere le suddette criticità. 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 che nel tratto in esame sono soprattutto connesse con la presenza del ponte di via Dante a Costa Masnaga, circa 800 metri a valle dell'area di intervento, che provoca un rigurgito verso monte che si apprezza significativamente anche nell'area di intervento.

Per ovviare agli allagamenti in quest'area, il piano degli interventi dello studio Lambro-Olona prevede la realizzazione di un'arginatura in sponda destra in grado di contenere all'interno dell'alveo inciso la piena duecentennale nell'assetto di progetto che prevede anche l'adeguamento del ponte di via Dante e la laminazione delle portate a monte che si riducono da 122 m/s a 57 mc/s.

Nella figura seguente si riporta lo stralcio delle fasce fluviali delimitate nell'ambito dello studio Lambro-Olona, non ancora vigenti ma da tenere a riferimento per le progettazioni così come previsto dalla delibera n°12/2008 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.



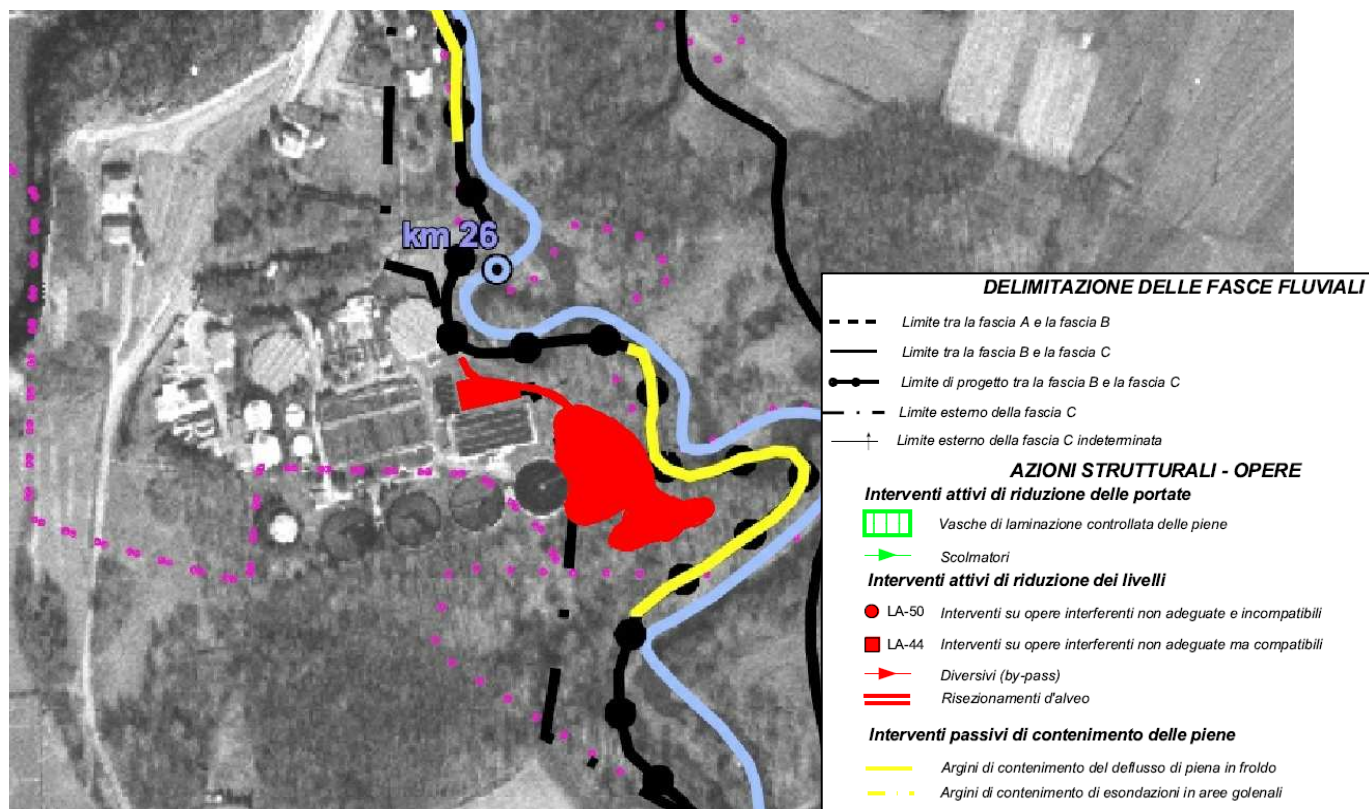


Figura 5 – Delimitazione delle fasce fluviali e individuazione degli interventi in corrispondenza del depuratore di Merone all'interno dello studio Lambro-Olona (fonte AdBPo) (in rosso l'area dove sorgeranno gli impianti)

Con riferimento alle aree allagabili riportate nella Figura 4 si vede che i limiti esterni delle fasce Be C risultano tra loro coincidenti in quanto gli allagamenti per T200 e T500 hanno, allo stato attuale, la medesima estensione. La **fascia B di progetto** è prevista coincidente con la sponda destra del fiume, confermando quindi quanto previsto nel PAI vigente, lungo la quale è prevista nello studio la realizzazione di un'arginatura.



## 6. AGGIORNAMENTO DEL MODELLO IDROLOGICO-IDRAULICO

Nella presente progettazione definitiva è stato aggiornato il modello idrologico-idraulico implementato dall'Autorità di Bacino nel tratto compreso tra sezione LA129.2 posta alla progressiva km 25+528, circa 500 metri a monte del tratto di intervento, e la sezione LA126.1 alla progressiva km 27+340 ubicata circa 300 metri a valle del ponte di via Dante, il quale a causa del restringimento che induce sull'alveo provoca il passaggio della corrente in critica e quindi disconnette idraulicamente il tratto a monte da quello di valle. La lunghezza del tratto simulato è di circa 1,8 km. Le verifiche idrauliche sono state svolte in moto vario per i tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni. La scelta del tratto da simulare, maggiore rispetto a quello prospiciente all'area di intervento, è stata dettata dall'esigenza di evitare che le condizioni al contorno potessero influenzare i livelli nel tratto di interesse.

### 6.1 DESCRIZIONE TOPOGRAFICA DELL'ALVEO

La descrizione topografica dell'alveo del Lambro ad oggi disponibile (rilievo dell'Autorità di Bacino) è stata integrata con un rilievo topografico di dettaglio del corso d'acqua nel tratto sopra specificato svolto da ASIL (Azienda Servizi Integrati Lambro) nell'ambito dello studio *"Studio idrologico e idraulico dei tre scolmatori principali su Lambro e Bevera in comune di Merone e Costa Masnaga"*, costituito da 8 nuove sezioni rilevate con un interasse di circa 60 metri. E' stato inoltre inserito il manufatto di attraversamento di via Dante in località Costa Masnaga posto in corrispondenza della sezione LA127.

I due rilievi sono stati confrontati tra loro per valutarne la compatibilità. Dal confronto è emersa una sostanziale uniformità di quote che ha consentito l'utilizzo di entrambi i rilievi.

Vale la pena di evidenziare come invece entrambi i rilievi dell'alveo sopra descritti presentino delle differenze di quota apprezzabili rispetto al rilievo dell'area golenale su cui sorgeranno le opere in progetto e fornito dal committente, in quanto realizzati in momenti diversi e con diversi sistemi di riferimento. Non è stato possibile uniformare l'informazione topografica a partire da caposaldi comuni, in quanto non disponibili ma confrontando i rilievi in diversi punti è emersa una differenza verticale di quote stimata in 1.20 metri (rilievo del depuratore più basso di 1.20 metri rispetto al rilievo Lambro-Olona). Poiché il rilievo delle aree golenali è coerente con il rilievo del depuratore e pertanto non si è ritenuto opportuno in questa fase mantenere come sistema di riferimento quello del depuratore.

Per far sì che le verifiche idrauliche fossero coerenti con gli studi pregressi, queste sono state condotte in coerenza con i rilievi sul corso d'acqua del Lambro-Olona e dello *"Studio idrologico e idraulico dei tre scolmatori principali su Lambro e Bevera in comune di Merone e Costa Masnaga"*, definendo quindi rispetto a questi, tiranti idrici e quote minime di difesa. Pertanto **nei capitoli seguenti del presente elaborato le quote e i tiranti idrici sono coerenti con lo studio Lambro-Olona e quindi con la pianificazione dell'AdBPo.**

Una volta determinati i tiranti e le quote di difesa, questi sono stati traslati verso il basso di 1.20 metri per renderli coerenti con il sistema di riferimento utilizzato per la progettazione delle altre opere. Tale trasformazione è riassunta al capitolo 0.

## 6.2 IL CODICE DI CALCOLO MIKE 11

Il modello idraulico MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute è un programma di calcolo che, 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. 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:

$$\begin{cases} \frac{\delta Q}{\delta x} + \frac{\delta A}{\delta t} = 0 \\ \frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left( \beta \cdot \frac{Q^2}{A} \right) + g \cdot A \cdot \frac{\delta h}{\delta x} + \frac{g \cdot |Q| \cdot Q}{\chi^2 \cdot A \cdot R} = 0 \end{cases} \quad (1)$$

dove:

- $h$  è la quota idrica misurata rispetto ad un livello orizzontale di riferimento (m)
- $A$  è l'area bagnata ( $m^2$ )
- $R$  è il raggio idraulico (m)
- $\chi$  è il coefficiente di scabrezza di Chezy ( $m^{1/2} s^{-1}$ )
- $Q$  è la portata ( $mc s^{-1}$ )
- $g$  è la accelerazione di gravità ( $ms^{-2}$ )
- $\beta$  è il coefficiente di ragguglio delle quantità di moto che solitamente si pone uguale all'unità.

Per quanto riguarda la condizione di valle è necessaria una precisazione. La struttura del modello di calcolo MIKE 11 rende necessario imporre una condizione di valle anche nel caso di corrente veloce. Infatti la risoluzione delle correnti transcritiche viene effettuata in maniera approssimata riducendo progressivamente, all'aumentare del numero di Froude, il termine di inerzia convettiva nella seconda delle equazioni di de Saint-Venant, fino ad eliminarlo del tutto per  $Fr > 1$  (corrente veloce). Contemporaneamente, la discretizzazione

delle equazioni viene spostata verso monte. In questo modo la struttura di calcolo rimane identica indipendentemente dalla condizione di moto ed è pertanto necessario sempre specificare una condizione di valle oltre ad una condizione di monte.

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

$$\chi = k_s \cdot R^{1/6} \quad (2)$$

in cui  $k_s$  è il coefficiente di scabrezza di Strickler. Le (1) vengono risolte numericamente dopo aver definito le condizioni al contorno e quelle iniziali.

### 6.3 MODELLAZIONE "QUASI-BIDIMENSIONALE"

Il modello quasi-bidimensionale adottato ha le seguenti caratteristiche:

- schematizza il territorio mediante una serie di corsi d'acqua, tra loro interconnessi a creare una rete a maglie aperte o chiuse, per i quali si applicano le equazioni di De Saint Venant monodimensionali;
- su ogni ramo delle rete possono essere rappresentate le strutture idrauliche presenti (sfioratori, stramazzi, tombini) che vengono descritte per mezzo dell'equazione di conservazione dell'energia, tenendo conto delle perdite concentrate provocate dal deflusso attraverso la struttura;
- le condizioni di confluenza (o di diramazione) vengono imposte idraulicamente mediante l'uguaglianza della quota idrica nelle sezioni di congiungimento tra i due rami, calcolando la ripartizione dei deflussi sulla base delle caratteristiche idrauliche dei tratti confluenti;
- i rami di deflusso propriamente detti (alveo fluviale principale, paleoalvei o depressioni) sono eventualmente collegati a zone di "espansione" costituite da celle d'invaso nelle quali è preponderante la funzione di laminazione delle portate (conservazione della massa) rispetto alle condizioni di moto (conservazione dell'energia o della quantità di moto). Tali zone vengono generalmente invase solo in occasione delle piene e rappresentano perciò degli invasi in grado di immagazzinare, temporaneamente, una quota parte del volume complessivo dell'onda di piena in transito e per tempi di ritorno elevati possono svolgere un importante ruolo nella laminazione accumulando parte del volume della piena e sottraendolo al transito verso valle. Il collegamento avviene mediante strutture a stramazzo che rappresentano le condizioni di tracimazione lungo le sponde dei canali o tra una zona di espansione e l'altra. Le singole strutture di connessione tra alveo e golena vengono descritte attraverso due sezioni: la prima, lato fiume, avente quota minima di fondo pari a quella della sezione trasversale del fiume principale nel punto di "uscita" dell'acqua e larghezza pari alla lunghezza del tratto di argine attraverso cui avviene la tracimazione verso golena; la seconda, posta all'interno della "cella d'invaso", avente quota minima pari alla quota minima del piano golenale allagato. Dal punto di vista idraulico la connessione tra

alveo e golena viene generalmente schematizzata con uno stramazzo a larga soglia, di equazione:

$$q = 0.385 \cdot h \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

La cella d'invaso viene opportunamente descritta tramite il legame h-A (livelli d'acqua raggiunti all'interno della cella e superficie superficiale occupata); tale relazione può eventualmente essere automaticamente estratta attraverso il codice Mike Gis, appoggiandosi sul Digital Elevation Model.

Il modello così implementato, pur non risolvendo le equazioni bidimensionali del moto, è comunque in grado di rappresentare il comportamento idraulico nella direzione principale del moto e nelle direzioni trasversali.

#### 6.4 COEFFICIENTI DI SCABREZZA

I calcoli idraulici per la ricostruzione dei profili di piena sono stati effettuati con riferimento al coefficiente di scabrezza di Manning o di Strickler ( $n = 1/k_s$ ), indicati nel testo "Ven Te Chow, Ph. D – Open Channel Hydraulics - Mc Graw Hill International Editions – 1986".

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).

Nello specifico si è adottato un valore di  $k_s$  pari a 25-30 nelle sezioni costituite dal fondo naturale e sponde con terreno rinverdito e  $k_s$  pari a 15-20 in corrispondenza delle aree golenali e/o nei rami laterali.

#### 6.5 CONDIZIONI AL CONTERNO

Il programma di calcolo ha la possibilità di utilizzare diverse 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).

Nel caso in esame, come condizioni al contorno, per le configurazioni di stato di fatto e assetto di progetto, sono stati utilizzati i medesimi idrogrammi utilizzati nello studio Lambro-Olona. In particolare sono stati considerati:

- Idrogramma di ingresso nella sezione di monte LA129.2, ricavato dalla simulazione idrologico-idraulica eseguita nell'ambito dello studio Lambro-Olona, che tiene



conto di tutti i fenomeni di laminazione naturale e di esondazioni del tratto di monte non considerato nella presente progettazione.

Nome bacino	Tipo Immissione	Progressiva [m]	Q <sub>10</sub> [mc/s]	Q <sub>200</sub> [mc/s]	Q <sub>500</sub> [mc/s]
Idrogramma monte	Concentrato	25528	31,03	122,07	166,39

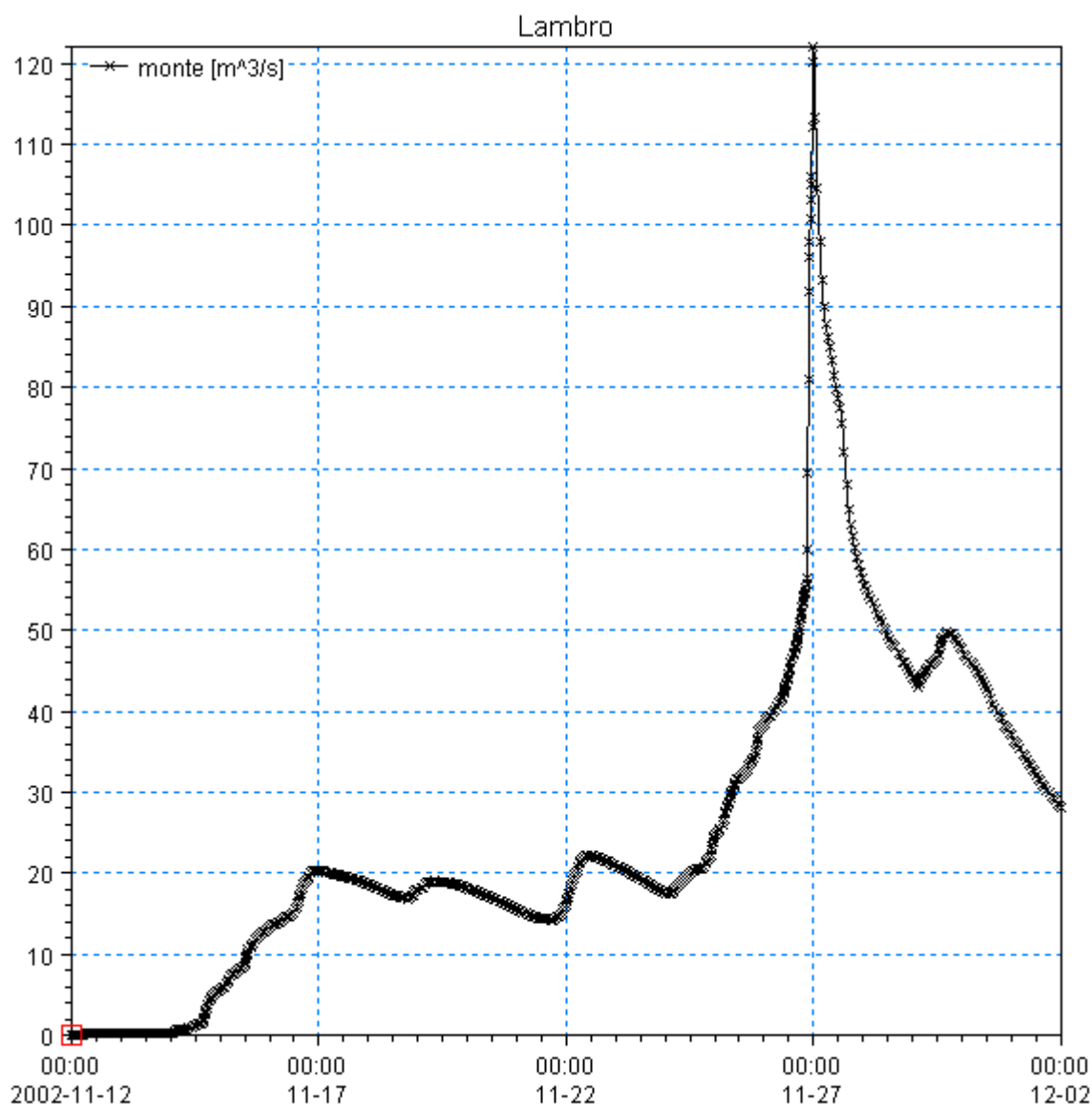


Figura 6 – Idrogramma T200 in ingresso al modello nella sezione di monte

- Idrogramma naturale relativo al sottobacino LAM5 (vedi Figura 3) uniformemente distribuito lungo il tratto simulato compreso tra la progr. km 25+528 e la progr. km 27+340.

Come condizione di valle è stata considerata la scala di deflusso della sezione di valle LA126.1 riportata nella figura seguente.

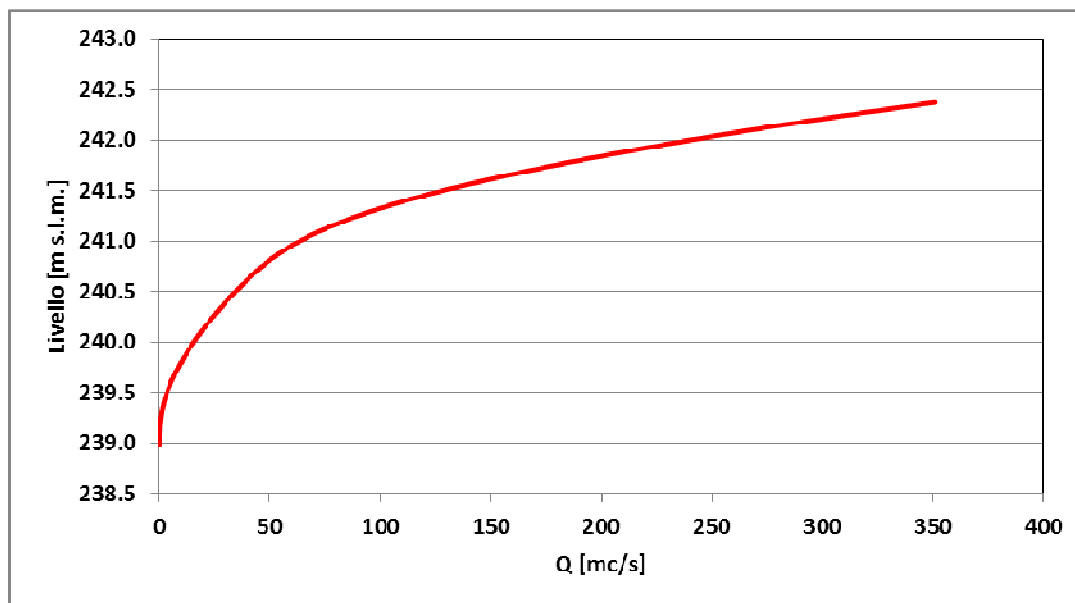


Figura 7 – Scala di deflusso adottata come condizione di valle

## 6.6 SIMULAZIONI EFFETTUATE E RISULTATI OTTENUTI

### 6.6.1 Stato di fatto

L'analisi dello stato di fatto ha confermato quanto già emerso nello studio Lambro-Olona. I livelli idrici calcolati sono pressoché coincidenti a quelli risultanti nel suddetto studio, come emerge dalla tabella seguente.

Sezione	T10 - LO [m s.l.m.]	T10 - PD [m s.l.m.]	T200 - LO [m s.l.m.]	T200 - PD [m s.l.m.]	T500-PD [m s.l.m.]	T500-PD [m s.l.m.]
LA129.2	243.19	<b>243.33</b>	244.32	<b>244.49</b>	244.65	<b>244.84</b>
LA129.1	243.04	<b>243.21</b>	243.94	<b>244.23</b>	244.25	<b>244.55</b>
LA128.1	242.15	<b>242.29</b>	243.43	<b>243.48</b>	244.12	<b>244.16</b>
LA128	241.56	<b>241.53</b>	243.37	<b>243.38</b>	244.10	<b>244.12</b>
LA 127.1	241.25	<b>241.22</b>	243.33	<b>243.34</b>	244.08	<b>244.09</b>
LA127	241.07	<b>241.04</b>	243.20	<b>243.21</b>	243.95	<b>243.96</b>
LA127 bis	240.97	<b>240.94</b>	242.00	<b>241.99</b>	242.27	<b>242.27</b>
LA126.1	240.33	<b>240.42</b>	241.26	<b>241.45</b>	241.50	<b>241.67</b>

Confronto tra livelli studio dello Lambro-Olona (LO) e quelli ottenuti con le modellazioni della presente progettazione definitiva (PD)

Tali livelli danno luogo ad allagamenti sia in sponda sinistra che in sponda destra, interessando parzialmente anche le aree destinate alle opere di fitodepurazione previste nel presente progetto.

La causa principale di questi allagamenti è dovuta al rigurgito provocato dal ponte di via Dante posto in corrispondenza della sezione LA127.

Nella tabella seguente si riportano i livelli idrici calcolati per i tempi di ritorno di 10, 200 e 500 anni (in grassetto le sezioni poste nel tratto di interesse).

<i>Sezione</i>	<i>Progressiva [m]</i>	<i>Livello T10 [m s.l.m.]</i>	<i>Livello T200 [m s.l.m.]</i>	<i>Livello T500 [m s.l.m.]</i>
LA129.2	25528.00	243.33	244.49	244.84
LA129.1	25731.00	243.21	244.23	244.55
SEZ. 12	25806.21	243.05	244.16	244.55
SEZ. 13	25875.07	242.85	243.87	244.36
SEZ. 14	25939.67	242.66	243.77	244.36
SEZ. 15	25974.00	242.66	243.77	244.36
SEZ. 16	26066.00	242.46	243.55	244.15
<b>SEZ. 17</b>	<b>26133.00</b>	<b>242.35</b>	<b>243.55</b>	<b>244.12</b>
<b>LA128.1</b>	<b>26161.00</b>	<b>242.29</b>	<b>243.48</b>	<b>244.12</b>
<b>SEZ. 18</b>	<b>26182.00</b>	<b>242.17</b>	<b>243.41</b>	<b>244.12</b>
<b>SEZ. 19</b>	<b>26222.00</b>	<b>242.04</b>	<b>243.39</b>	<b>244.12</b>
LA128	26529.00	241.53	243.38	244.12
LA 127.1	26881.00	241.22	243.34	244.09
LA127	27039.00	241.04	243.21	243.96
LA127 valle	27044.00	240.98	242.08	242.38
LA127 bis	27046.00	240.94	241.99	242.27
LA126.1	27340.00	240.42	241.45	241.67

*Risultati delle simulazioni idrauliche nello stato di fatto*

### 6.6.2 Configurazione di progetto

Le opere previste nella presente progettazione prevedono la realizzazione di un sistema di fitodepurazione localizzato nell'area golenale in sponda destra del fiume Lambro nel tratto compreso tra la sezione 17 (progr. km 26+133) e la sezione 19 (progr. km 26+222). Dall'analisi dello stato di fatto in questa porzione di territorio si verificano allagamenti che interessano l'area destinata alle vasche di fitodepurazione.

La scelta progettuale che è stata fatta è quella di proteggere per eventi cinquecentennali le opere a maggior domanda di sicurezza in quanto un loro allagamenti nel potrebbe provocare un serio danneggiamento, e quindi i trattamenti preliminari e i sistemi areati, è di salvaguardare invece solo per eventi con tempo di ritorno inferiore a 10 anni il sistema a flusso libero, tenendo conto che un eventuale allagamento di questo non provocherebbe danni apprezzabili alle opere in progetto.

Al fine poi di consentire una maggior sezione di deflusso al corso d'acqua e di mitigare l'opera dal punto di vista ambientale, l'arginatura è stata arretrata rispetto alla sponda destra del Lambro di circa 10 metri, offrendo quindi anche un miglioramento delle condizioni di deflusso rispetto alla configurazione prevista nello studio Lambro-Olona che posizionava la difesa sulla sponda del corso d'acqua.

Per tenere conto delle possibili incertezze sui livelli idrici e del bilancio delle materie, si è prevista la realizzazione di un argine, nel tratto prospiciente ai sistemi areati, con la quota di sommità posta a **245,20 m s.l.m.**, e nessun argine nel tratto a monte e a valle in quanto come si evince dal profilo in tav. XX, le quote del terreno in golena sono sufficienti a garantire a monte il contenimento della cinquecentennale e a valle della decennale. Le quote di difesa previste, come si evince dalla tabella seguente, nel tratto prospiciente ai trattamenti preliminari e ai sistemi areati, consentono di garantire un franco idraulico di sicurezza ampiamente superiore ad un metro rispetto al livello T200 e di 1 metro rispetto alla cinquecentennale. A valle, in corrispondenza del sistema a flusso libero, la quota del piano campagna pari a **242.70 m s.l.m.** consente il contenimento della piena decennale.

<i>Sezione</i>	<i>Progressiva {m}</i>	<i>Livello T10 [m s.l.m.]</i>	<i>Livello T200 [m s.l.m.]</i>	<i>Livello T500 [m s.l.m.]</i>
LA129.2	25528.00	243.33	244.50	244.85
LA129.1	25731.00	243.22	244.24	244.56
SEZ. 12	25806.21	243.05	244.18	244.56
SEZ. 13	25875.07	242.87	243.90	244.38
SEZ. 14	25939.67	242.68	243.81	244.38
SEZ. 15	25974.00	242.68	243.81	244.38
SEZ. 16	26066.00	242.50	243.60	244.19
<b>SEZ. 17</b>	<b>26133.00</b>	<b>242.41</b>	<b>243.59</b>	<b>244.19</b>
<b>LA128.1</b>	<b>26161.00</b>	<b>242.37</b>	<b>243.59</b>	<b>244.19</b>
<b>SEZ. 18</b>	<b>26182.00</b>	<b>242.25</b>	<b>243.51</b>	<b>244.19</b>
<b>SEZ. 19</b>	<b>26222.00</b>	<b>242.10</b>	<b>243.45</b>	<b>244.16</b>
LA128	26529.00	241.55	243.42	244.16
LA 127.1	26881.00	241.22	243.37	244.13
LA127 monte	27039.00	241.04	243.24	244.00
LA127 valle	27044.00	240.98	242.09	242.39
LA127 bis	27046.00	240.94	242.00	242.29
LA126.1	27340.00	240.42	241.46	241.68

*Risultati delle simulazioni idrauliche nella configurazione di progetto*

Vale la pena di osservare come l'assetto di progetto dell'intero corso d'acqua proposto nel Lambro-Olona preveda anche l'adeguamento del ponte di via Dante che oggi è causa di un significativo innalzamento dei livelli nel tratto oggetto di intervento, oltre alla diminuzione delle portate ducentennali in arrivo da 122 mc/s a circa 55 mc/s.

L'adeguamento di tale manufatto, e la riduzione delle portate, come emerge dal profilo dello studio Lambro Olona riportato in *Figura 8*, provoca un **abbassamento dei livelli duecentennali che in corrispondenza del sistema a flusso libero risultano prossimi a 242.50**



m s.l.m. e quindi contenuti in alveo anche in questo tratto seppur con franco ridotto, mentre in corrispondenza dei sistemi areati incrementerà ulteriormente il franco di sicurezza.

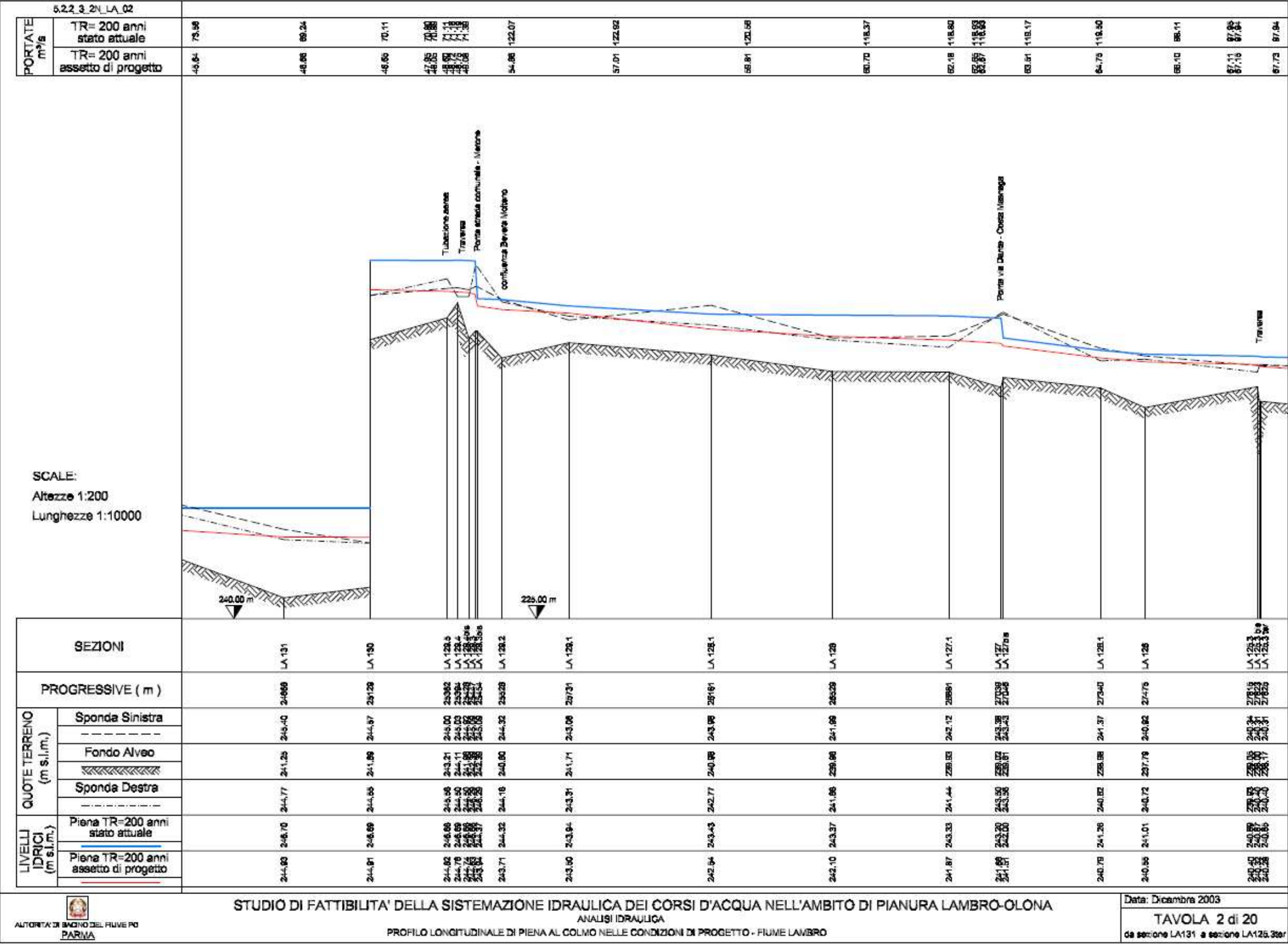


Figura 8 – Profilo Lambro-Olona nella configurazione di stato di fatto e progetto

Pertanto nell'assetto definitivo del corso d'acqua l'intera portata duecentennale sarà convogliata verso valle senza interessare non solo i sistemi areati ma anche il sistema a flusso libero.

E' importante infine evidenziare come la realizzazione dell'arginatura prevista nel presente progetto, non va in alcun modo ad aggravare le condizioni di rischio delle aree circostanti e poste a monte e a valle dell'area di intervento infatti la realizzazione dell'arginatura precedentemente descritta provoca un innalzamento dei livelli massimo di 10 cm alla sezione LA 128.1 che si va a ridurre progressivamente verso monte e verso valle praticamente annullandosi al ponte di via Dante e in corrispondenza della fine del tratto simulato di monte.

<i>Sezione</i>	<i>Progressiva [m]</i>	<i>Livello T200 stato di fatto [m s.l.m.]</i>	<i>Livello T200 progetto [m s.l.m.]</i>
LA129.2	25528.00	244.49	244.51
LA129.1	25731.00	244.23	244.25
SEZ. 12	25806.21	244.16	244.19
SEZ. 13	25875.07	243.87	243.92
SEZ. 14	25939.67	243.77	243.85
SEZ. 15	25974.00	243.79	243.87
SEZ. 16	26066.00	243.55	243.64
<b>SEZ. 17</b>	<b>26133.00</b>	<b>243.36</b>	<b>243.46</b>
<b>LA128.1</b>	<b>26161.00</b>	<b>243.48</b>	<b>243.58</b>
<b>SEZ. 18</b>	<b>26182.00</b>	<b>243.41</b>	<b>243.50</b>
<b>SEZ. 19</b>	<b>26222.00</b>	<b>243.39</b>	<b>243.45</b>
LA128	26529.00	243.38	243.42
LA 127.1	26881.00	243.34	243.37
LA127 monte	27039.00	243.21	243.24
LA127 valle	27044.00	242.08	242.09
LA127 bis	27046.00	241.99	242.00
LA126.1	27340.00	241.45	241.46

*Confronto tra i livelli stato di fatto – configurazione di progetto per T200*

## **6.7 QUOTE DI DIFESA RIFERITE AL SISTEMA DI RIFERIMENTO DEL RILIEVO DEL DEPURATORE**

Come anticipato al par. 6.1 le quote del rilievo del depuratore sulla base delle quali è stata progettata l'opera sono traslate verso il basso rispetto alle quote dei due rilievi del corso d'acqua di un valore stimato in 1.20 metri. Pertanto per coerenza tra i vari elaborati progettuali le quote e i tiranti nelle tavole di progetto e negli altri elaborati testuali riassunti ai paragrafi precedenti, saranno traslati della suddetta quantità rispetto a quanto riportato nel presente elaborato.

## 7. CONCLUSIONI

Lo studio idrologico-idraulico condotto, ha consentito di evidenziare come l'intervento in progetto risulti coerente con il PAI vigente e con la pianificazione esistente a livello di bacino del fiume Lambro e anzi vada a realizzare una parte delle opere già previste all'interno della suddetta pianificazione, con quote adeguate a salvaguardare le opere in progetto a maggior domanda di sicurezza anche per eventi cinquecentennali, senza aggravare le condizioni di sicurezza dei territori limitrofi.



## 8. ALLEGATI

1. PLANIMETRIA: UBICAZIONE SEZIONI MODELLO IDRAULICO
2. PROFILO LONGITUDINALE - SISTEMA DI RIFERIMENTO "STUDIO LAMBRO OLONA"
3. PROFILO LONGITUDINALE - SISTEMA DI RIFERIMENTO "RILIEVO DEPURATORE"