

AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO in Comune di Paderno Dugnano (MI) - MI-E-795

PROGETTO DEFINITIVO

NOVEMBRE 2014

PROGETTISTI:

ING. GAETANO LA MONTAGNA
ING. SARA MELONE

COLLABORATORI ALLA PROGETTAZIONE:

GEOM. MAURO MARCONE
DOTT. ALESSANDRO MORGESE

GEOLOGIA:

DOTT. CRISTIAN MORGANTI

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. LUIGI MILLE

SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE:

PROFESSIONISTI INCARICATI:

Dott. Ing. GIOVANNI BATTISTA PEDUZZI

Prof. Ing. ALESSANDRO PAOLETTI
Dott. Ing. STEFANO CROCI
Dott. Ing. FILIPPO MALINGEGNO
Dott. Ing. CRISTINA PASSONI

Dott. Ing. MASSIMO COCCATO
Dott. Ing. MARCO MIOLO

Dott. Geol. MARIO SPADA
Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI
Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

Dott. Ing. ALESSANDRO BARBON

ETATEC S.R.L.

STUDIO PAOLETTI
SOCIETA' DI INGEGNERIA

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax +39 02 26681553
etatec@etatec.it - etatec@pec.etatec.it - www.etatec.it

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

Via Bassini 23 20133 Milano | tel: +39 02 26681264 - fax: +39 02 26681553
Studiopaoletti@etatec.it - Studiopaoletti@pec.etatec.it



BETA Studio S.R.L.

Ponte San Nicolò (PD) 35020 - Via Guido Rossa 29/a

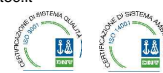
Tel +39.049.8961120 - Fax +39 049.8961090 - info@betastudio.it

Studio Associato di Geologia Spada

Via Donizetti 17 24020 Ranica (BG)

tel: +39 035 516090 - +39 035 513738

Vicolo Manzoni 3 27038 Robbio (PV)



CONSULENZE SPECIALISTICHE:

ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR
Dott. Agr. GIOVANNI SALA
Arch. LUISA BELLINI

QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

LAND Milano Srl

Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30 www.landmilano.com

GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Duisburg



Landscape
Architecture
Nature
Development

Piazzale Aquileia 6 20144 Milano | tel: +39 02 4814701

TITOLO

SCALA

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Revisioni

1

2

Numero
elaborato

TIPOLOGIA

PD

COMMESSA

MI-E-795

DOCUMENTO

AT

NUMERO

A.2.1

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTING PARTNERS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

INDICE

1.	PREMESSA.....	2
2.	CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO .	3
2.1	ASSETTO ATTUALE	3
2.2	MODELLAZIONE IDRODINAMICA DEL F. SEVESO	8
2.2.1	Parametri del modello	10
2.2.2	Tempo di ritorno di riferimento del progetto.....	11
2.2.3	Risultati del modello.....	12
2.3	EFFETTI DELLE POLITICHE DI “INVARIANZA IDRAULICA” E DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE (LAMINAZIONI E INFILTRAZIONI “URBANE” DIFFUSE E CONCENTRATE).16	
2.4	ASSETTO DI PROGETTO DEL F. SEVESO.....	17
2.4.1	Laminazioni golenali a Vertemate con Minoprio (volumi invasabili 120'500 m ³).....	22
2.4.2	Laminazioni golenali a Cermenate e Cantù (volumi invasabili 126'500 m ³)23	
2.4.3	Laminazione nella vasca in scavo di Lentate sul Seveso (volume invasabile 815.000 m ³).....	24
2.4.4	Laminazione nella vasca in scavo di Varedo (volume invasabile 1.500.000 m ³).....	25
2.4.5	Laminazione nella vasca in scavo di Paderno Dugnano (volume invasabile 930.000 m ³).....	26
2.5	PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI PADERNO DUGNANO	27
2.5.1	Analisi evento per T=100 anni.....	28
3.	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO.....	31
3.1	GENERALITÀ	31
3.2	INVASO DI LAMINAZIONE	32
3.3	OPERA DI PRESA	33
3.3.1	Configurazione dell'opera di presa nell'assetto attuale	36
3.4	DETERMINAZIONE DELLA QUOTA DI CORONAMENTO DELLE ARGINATURE PERIMETRALI	37
3.5	CONDOTTO DI ALIMENTAZIONE DELL'INVASO.....	39
3.6	CANALE DI RECAPITO ALLA SEZIONE I DELL'INVASO	40
3.7	STAZIONE DI SOLLEVAMENTO PER LO SCARICO DEI VOLUMI INVASATI.....	42

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agente Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

1. PREMESSA

La presente relazione espone le principali caratteristiche idrologico-idrauliche del sistema fluviale afferente alla vasca di laminazione del T. Seveso in Comune di Paderno Dugnano e le valutazioni condotte nel presente Progetto Definitivo relative ai calcoli di dimensionamento dei diversi manufatti idraulici che compongono il sistema di laminazione.

Relativamente all’assetto idrologico-idraulico del Fiume Seveso, le analisi di seguito esposte si basano essenzialmente sui contenuti dello “*Studio idraulico del torrente Seveso nel tratto che va dalle sorgenti alla presa del Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO) in località Palazzolo in Comune di Paderno Dugnano (MI) e studio di fattibilità della vasca di laminazione del CSNO a Senago (MI)*” (d’ora in poi denominato Studio-AIPO-2011), redatto dalla società ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l. su incarico di AIPO, poi approvato nell’ambito dell’Accordo di Programma relativo alla difesa idraulica del territorio milanese.

Nel capitolo 2 vengono presentate le caratteristiche idrologico-idrauliche del torrente Seveso e il connesso inquadramento dell’invaso di laminazione di Paderno Dugnano di cui al presente progetto;

Nel capitolo 3 vengono presentati i calcoli di dimensionamento idraulico delle diverse opere che costituiscono l’invaso di laminazione.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte

2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO

Vengono qui riportate in modo riassuntivo le analisi idrologico-idrauliche e le simulazioni modellistiche dettagliatamente esposte nel suddetto Studio di fattibilità AIPO 2011.

2.1 ASSETTO ATTUALE

Il torrente Seveso nasce alle falde del Monte Pallanza nel territorio del comune di San Fermo della Battaglia (CO), nelle vicinanze del confine svizzero con il Canton Ticino, sul versante Meridionale del Sasso Cavallasca, in provincia di Como, circa a quota 490 metri sul livello del mare, tocca vari centri abitati della Brianza ed entra in Milano fino ad unirsi con il Naviglio della Martesana all'interno della città di Milano in prossimità di via Melchiorre Gioia.

Nel panorama generale dell'ambito idrografico Lambro – Olona, il torrente Seveso si caratterizza per l'entità del grado di vincolo presente nella zona terminale dell'asta. Essendo posto infatti al centro della zona urbana milanese (a differenza di Lambro e Olona che scorrono in zone più periferiche) ed attraversando una porzione di territorio che ha subito uno sviluppo urbanistico senza paragoni in Lombardia negli ultimi 50 anni, il torrente Seveso risulta caratterizzato dal seguente assetto idraulico:

- la dimensione del bacino drenato. Il torrente Seveso ha un bacino di oltre 200 km², superiore al bacino dei corsi d'acqua delle Groane, che presentano la medesima caratteristica di immettersi al di sotto della città di Milano;
- il bacino ha origine nella zona delle prealpi e pertanto le onde di piena che interessano il corso d'acqua hanno una base di tipo "naturale" con volumetrie dell'onda superiori a quelle derivanti dagli ambiti collinari e urbani che caratterizzano gli altri corsi d'acqua limitrofi (Groane, Bozzente ed anche Lura);
- il corso d'acqua, fin dall'ingresso nel territorio comunale di Milano, è tombinato con capacità di deflusso (stimata in 30÷40 m³/s e limitata da vincoli a valle) assai inferiore rispetto all'apporto di monte;
- la capacità idraulica sopra riportata è appena sufficiente al drenaggio delle acque meteoriche urbane dell'hinterland per eventi che non superino i 2 anni di tempo di ritorno;

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
 AIPO <small>Agenzia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND

- il corso d'acqua, nel percorso in Milano, non presenta sezioni a cielo aperto;
- la rilevanza del grado di urbanizzazione attorno all'asta; tutto il tratto terminale del corso d'acqua da Lentate sul Seveso a Milano presenta aree urbanizzate di vaste proporzioni ed inoltre in buona parte di tale tratto (da Lentate sul Seveso a Cusano Milanino) il corso d'acqua si presenta incassato di parecchi metri rispetto al piano campagna;
- il sistema spondale per ampi tratti è costituito dai muri stessi delle case realizzate ai margini dell'alveo che in alcuni casi ne riducono la capacità di deflusso;
- lo sviluppo urbanistico dei Comuni dell'hinterland a monte ha indotto alla progressiva impermeabilizzazione di vaste aree con conseguente aumento delle portate scaricate dal reticolo fognario. Le potenzialità di scarico di detto reticolo sono in grado di saturare la capacità di deflusso del corso d'acqua già per eventi associati a modesto tempo di ritorno, pur in assenza di afflussi da monte.

L'insieme delle citate particolarità fa sì che gli eventi alluvionali del torrente Seveso in Milano assumano una frequenza di più volte l'anno.

Secondo i dati disponibili, a Milano dal 1976 ad oggi si sono avute ben 104 esondazioni (in media 2,7 esondazioni all'anno). Negli ultimi anni sono stati particolarmente critici il 2010, durante il quale si sono verificate 8 esondazioni (03/05, 14/05, 23/07, 05/08, 12/08, 18/09, 01/11, 16/11), di cui particolarmente grave quella del 18 settembre, e il 2014, in quanto nel periodo 25 giugno ÷ 16 novembre si sono manifestate 8 esondazioni tra cui particolarmente gravose quelle dell'8 luglio e del 15-16 novembre nel corso delle quali si sono generate portate defluenti prossime a 100 anni di tempo di ritorno, che hanno causato diverse gravi situazioni di allagamento non solo a Milano – Niguarda ma anche in altri comuni lungo l'asta del Seveso.

Nelle foto seguenti si riportano alcune situazioni di allagamento in Milano nella zona di Niguarda negli anni '70 e oggi (8 luglio 2014).

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div>    <div> <i>Studio Associato Geologia Spada</i> </div> <div> <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> </div> </div>						Consulenti:  <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>
---	--	--	--	--	--	--	---

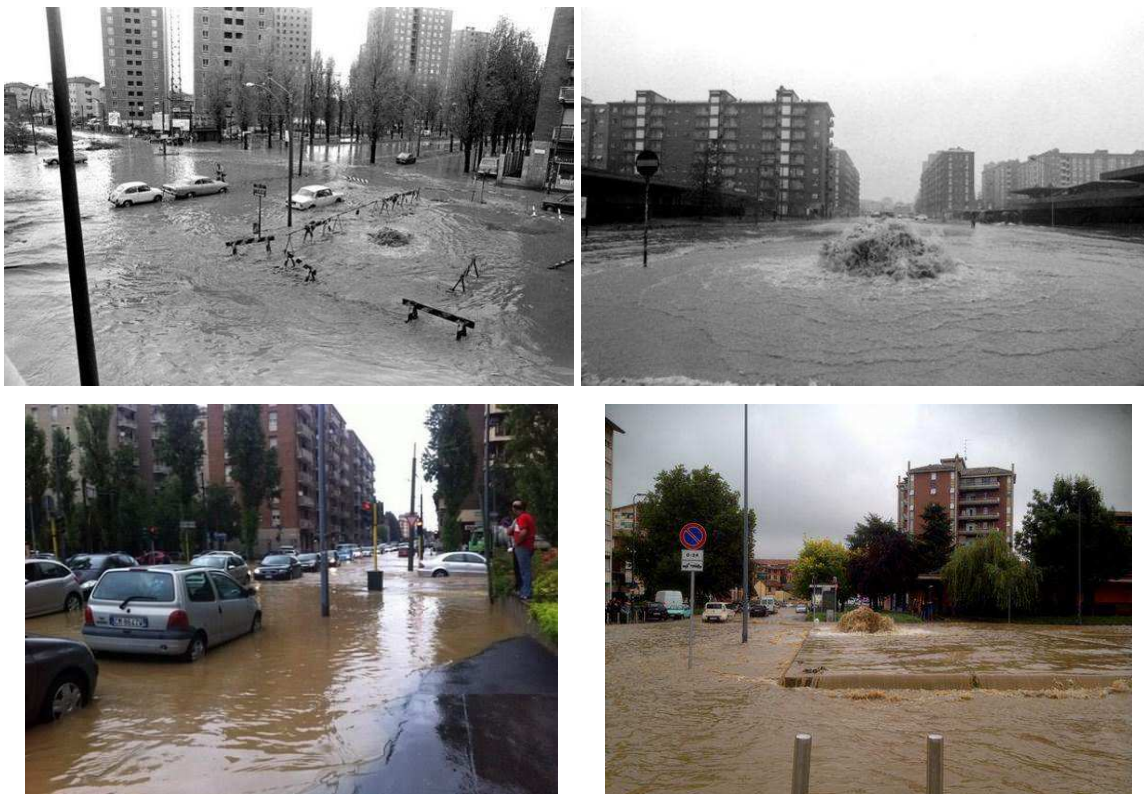


Figura 1 – Allagamenti a Milano (sopra: anni '70; sotto: 8/7/2014)

Entrando più nel dettaglio, l'intero bacino idrografico del Seveso può essere suddiviso sostanzialmente in quattro parti:

- la prima parte più settentrionale, denominata “*Seveso naturale*”, afferente all'asta del torrente Seveso dalla sorgente al comune di Lentate sul Seveso, presenta versanti acclivi o mediamente acclivi ed è caratterizzato da urbanizzazione ridotta comunque tale da non produrre modifiche rilevanti rispetto al processo di piena naturale;
- la seconda parte, denominata “*Certesa naturale*”, ad est della precedente e afferente al torrente Certesa (o Roggia Vecchia), principale affluente del Seveso, si estende dalle sorgenti fino alla confluenza con il torrente Terrò ed è caratterizzato da versanti acclivi e da scarsa urbanizzazione;
- la terza parte, denominata “*Certesa urbano*”, anch'essa afferente al Torrente Certesa, dalla confluenza con il Torrente Terrò fino alla confluenza nel torrente Seveso, presenta versanti poco acclivi e vaste aree urbanizzate (Mariano Comense, Cabiato e Meda);
- la quarta parte, denominata “*Seveso urbano*”, afferente direttamente al torrente Seveso, da

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agente Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Lentate sul Seveso all'ingresso nel tratto tombato nel comune di Milano, presenta versanti pressoché pianeggianti ed un'elevata urbanizzazione (Barlassina, Seveso, Cesano Maderno, Bovisio Masciago, Varedo, Paderno Dugnano, Cusano Milanino, Cormano Bresso e Cinisello Balsamo).

Tali quattro parti in cui è stato suddiviso il bacino idrografico del Seveso possono essere raggruppate, in relazione alla tipologia di funzionamento idrologico di formazione delle piene: i deflussi delle zone *Seveso naturale* e *Certesa naturale* dipendono esclusivamente dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino, mentre i deflussi delle zone *Seveso urbano* e *Certesa urbano*, eccetto gli apporti di alcuni piccoli affluenti (Comasinella), risultano influenzati principalmente dalla capacità di smaltimento delle reti di drenaggio urbano.

La superficie complessiva del bacino del Seveso, chiuso all'ingresso nel tratto tombato di Milano in via Ornato è pari a circa 226 km², 100 dei quali di aree urbane (44%). Il sottobacino idrografico del torrente Certesa, affluente principale del Seveso, è pari a circa 72 km².

Se si considera poi come sezione di chiusura la presa del CSNO, ubicata a Palazzolo (Comune di Paderno Dugnano, ove vengono scolmate le portate di piena del T. Seveso, il bacino idrografico ha un'estensione di circa 190 km², 76 dei quali di aree urbane (40%). Come differenza si ha che il bacino idrografico del T. Seveso compreso tra la presa del CSNO e Milano è pari a 36 km², di cui 24 di aree urbanizzate (67%).

Nella Figura 2 è riportata la planimetria del bacino idrografico del T. Seveso, fino alla sezione di chiusura di Milano.

La lunghezza dell'asta del torrente Seveso fino a Milano (da ospedale S. Anna di Como) è pari a circa 39 km, 32 dei quali fino alla presa del CSNO in località Palazzolo, Comune di Paderno Dugnano.

<p>PROGETTISTI</p>	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p>					
<p>AIPo Agenzia Interregionale per il fiume Po</p>	<p>ETATEC STUDIO PAOLETTI</p>	<p>STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI</p>	<p>A.T.P.: BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</p>	<p><i>Studio Associato</i> Geologia Spada</p>	<p><i>Dott. Ing.</i> A. Barbon</p>	<p>Consulenti: LAND <i>Prof. Dott.</i> V. Mezzanotte</p>

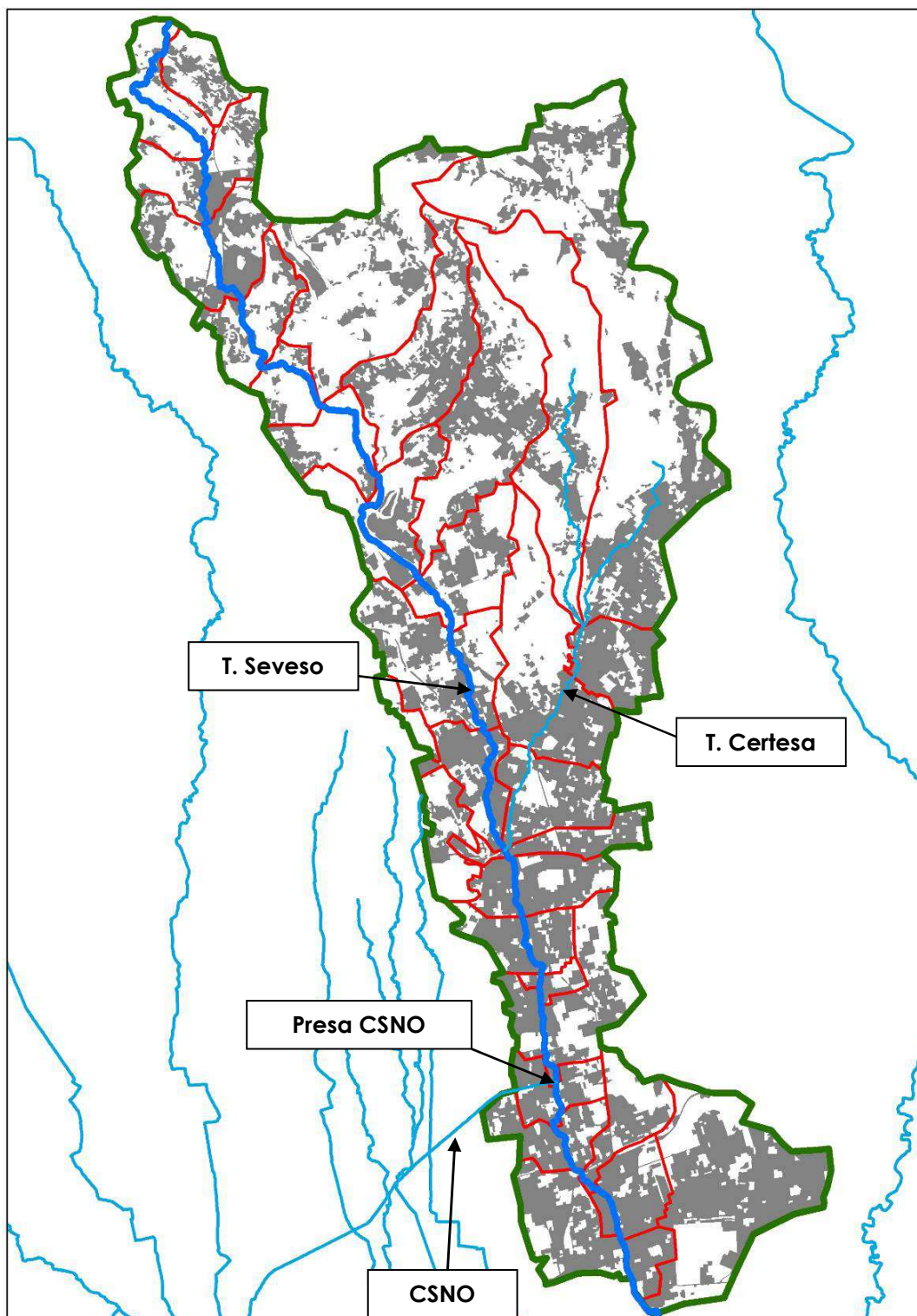


Figura 2 – Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i sottobacini del modello idrologico, mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte

2.2 MODELLAZIONE IDRODINAMICA DEL F. SEVESO

Per poter rappresentare al meglio gli aspetti della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale del T. Seveso e nel CSNO in occasione delle piene, si è utilizzato il modello messo a punto nello Studio-AIPO-2011 basato sul codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Esso, infatti, comprende moduli idonei al caso in oggetto, in funzione del livello di conoscenza, peraltro assai elevato data l'ampiezza delle operazioni topografiche di campo incluse nello studio, della reale geometria dei manufatti e delle aree e sulle sue particolari calibrazioni attinenti sia agli aspetti inerenti la formazione delle piene nei sottobacini urbani e extraurbani sia ai processi idrodinamici di propagazione e invaso lungo il reticolo idrodinamico e le aree di esondazione e di laminazione.

Il modello elabora la formazione delle piene in modo distribuito seguendo una suddivisione del bacino complessivo in 26 sottobacini (fino alla presa del CSNO) e utilizzando moduli di calcolo adatti sia alle caratteristiche dei deflussi urbani, con le limitazioni legate al comportamento delle reti fognarie urbane, sia alle caratteristiche dei bacini extraurbani.

Nella successiva Tabella 1 sono riportati i diversi sottobacini con i dati relativi a: superficie complessiva, estensione delle aree extraurbane, estensione delle aree urbanizzate, note (es. comuni interni al sottobacino, nome affluente). All'interno delle note è inoltre riportato il caso in cui il sottobacino contribuisce agli afflussi del T. Seveso solo per la componente urbana, attraverso la rete di drenaggio urbano e non contribuisce per la componente extraurbana, a causa dell'assenza di reticolo superficiale di recapito nel Seveso e di ridotte pendenze del piano campagna.

Tabella 1 – Sottobacini del modello idrologico e loro caratteristiche principali

Nome sottobacino	Superficie totale [km²]	Superficie extraurb. [km²]	Superficie urbanizzata [km²]	Note
SEV 1a	2.97	1.84	1.13	Cavallasca, San Fermo della Battaglia
SEV 1b	4.69	4.18	0.51	San Fermo della Battaglia, Montano Lucino
SEV 1c	3.00	1.57	1.43	Como, Montano Lucino
SEV 1d	2.49	1.78	0.71	Montano Lucino, Villa Guardia
SEV 2	6.89	3.27	3.62	Villa Guardia, Grandate Luisago, Casnate con Bernate
SEV 3	4.72	2.99	1.73	Casnate con Bernate Fino Mornasco

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.:				Consulenti: 
				Studio Associato Geologia Spada Dott. Ing. A. Barbon	Prof. Dott. V. Mezzanotte

ACQ	15.80	12.04	3.76	Affluente Rio Acquanegra
SEV 4	2.68	2.17	0.51	Fino Mornasco Vertemate con Minoprio
ANT	7.37	2.65	4.72	Affluente Valle Antonio
SEV 5	4.25	3.26	0.99	Vertemate con Minoprio
SEV 6	6.33	3.92	2.41	Carimate
SER	8.73	3.62	5.11	Affluente Rio Serenza
SEV 7	11.38	9.15	2.23	Carimate, Novedrate, Figino Serenza
SEV 8	8.78	4.62	4.16	Lentate sul Seveso
SEV 9	4.03	1.03	3.00	Barlassina, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
CER 1	35.51	23.80	11.71	Affluente Certesa Mariano Comense
TER	16.20	13.67	2.53	Terrò
CER 2	4.20	0.84	3.36	Affluente Certesa Mariano Comense, Cabiato <i>Solo contributo urbano</i>
CER 3	11.30	6.70	4.60	Affluente Certesa Meda
CER 4	5.10	1.59	3.51	Affluente Certesa Meda, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 10	2.90	0.80	2.10	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
COM	4.34	3.26	1.08	Affluente Comasinella
SEV 11	4.74	1.14	3.60	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 12	3.75	0.87	2.88	Bovisio Masciago <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 13	0.96	0.40	0.56	Varedo <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 14	7.44	3.46	3.98	Varedo, Paderno Dugnano <i>Solo contributo urbano</i>
Totale	190.55	114.62	75.93	

Il modello dell'asta principale del torrente Seveso è stato implementato attraverso 485 sezioni, atte a caratterizzare tutte le diverse situazioni di alveo (concentrato, con allargamenti e invasi golenali, con aree di laminazione, ecc.) e tutti gli attraversamenti con le loro esatte geometrie, di cui:

- 203 ricavate dai rilievi condotti nello “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona” dell'Autorità di Bacino del fiume Po, relativi all'anno 2002;
- 25 sezioni a monte del tratto rilevato nell'ambito del suddetto studio di fattibilità, ricavati da altri studi e da rilievi condotti sul campo da parte degli scriventi;
- 80 sezioni poste a rappresentare l'alveo a valle dei ponti, delle briglie e delle traverse (per

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

i ponti, copia delle sezioni d'alveo rilevate a monte del manufatto, mentre per le briglie e le traverse copia delle sezioni di monte ma abbassate in funzione del salto di quota rilevato);

- 80 sezioni rappresentanti la forma del passaggio sotto i ponti e del ciglio delle briglie e delle traverse;
- 14 sezioni per rappresentare il comportamento di alcune aree di allagamento (schema quasi-bidimensionale);
- 11 sezioni per rappresentare il torrente Certesa, affluente principale del T. Seveso;
- 72 sezioni per rappresentare il CSNO, in parte ricavate dai disegni "as built" degli interventi di raddoppio del CSNO tra l'opera di presa e il ponte di Via Marzabotto, ed in parte dal progetto della Provincia di Milano "*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago e Settimo Milanese*".

In generale si riscontra la notevole influenza dei manufatti di attraversamento sulla dinamica fluviale. In tutto il tratto oggetto di studio (32 km) si contano 48 attraversamenti, di cui solo 17 con franco adeguato e ben 15 con funzionamento in pressione o con sormonto. Tale caratteristica determina per ampi tratti un profilo idrico di rigurgito che spesso induce un effetto di crisi catena: il ponte a valle con il proprio effetto di rigurgito porta alla crisi il ponte a monte.

In corrispondenza dell'opera di presa e di regolazione del C.S.N.O. a Palazzolo il modello rappresenta la derivazione dal torrente Seveso di una portata massima di circa 30 m³/s nella situazione attuale e di 60 m³/s nella situazione di progetto. Allo stato attuale un primo tratto del C.S.N.O. risulta già potenziato e quindi in grado di convogliare verso valle portate dell'ordine di 60 m³/s, ma siccome tale valore non può essere convogliato verso valle, l'opera di presa del C.S.N.O. viene regolata in modo tale da limitare l'apporto dal Seveso.

2.2.1 Parametri del modello

I parametri inseriti nel modello per rappresentare le perdite idrologiche e i tempi di risposta dei singoli sottobacini urbani ed extraurbani sono dettagliatamente esposti nel sopracitato *Studio AIPO-2011*, al quale si rimanda Essi corrispondono alle scelte effettuate nell'ambito dello Studio di fattibilità dell'Autorità di Bacino del F. Po di cui allo *Studio AdBPo-2004*.

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.:						Consulenti: 
			Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon			Prof. Dott. V. Mezzanotte

2.2.2 Tempo di ritorno di riferimento del progetto

Anche la scelta dell'evento di riferimento progettuale è aderente a quanto definito dall'Autorità di Bacino del F. Po di cui allo *Studio AdBPo-2004*. In particolare per il bacino Seveso- Olona l'Autorità di Bacino ha definito come evento di riferimento quello centennale contemporaneo su tutte le aste del reticolo del suddetto bacino.

In merito alla suddetta contemporaneità di eventi centennali su tutte le aste del bacino, una ipotetica scelta di eventi di riferimento aventi dinamiche non contemporanee potrebbe comportare un incremento del livello di rischio, scelta che comunque sarebbe rimessa alla competente responsabilità dell'Autorità di Bacino.

Inoltre nelle dinamiche reali degli eventi di massima intensità, che effettivamente avvengono normalmente con dinamiche non contemporanee, possono aversi effetti anche più gravi dell'evento contemporaneo, a parità di tempo di ritorno. Ciò avviene quando l'evento piovoso si muove nel bacino da monte a valle in fase con la propagazione dell'onda. Quindi un evento centennale contemporaneo non può assolutamente definirsi a priori come più o meno catastrofico di un evento centennale non contemporaneo.

Si ricorda anche che la ricostruzione dell'evento del Seveso del 7-8 luglio 2014 ha accertato che le precipitazioni avvenute nel bacino sono state commisurate a tempi di ritorno differenziati nei diversi pluviometri da 20 a 50 anni di tempo di ritorno, mentre l'onda di piena generatasi nel Seveso a Palazzolo ha avuto caratteri simili a quella di progetto per $T = 100$ anni sia come portata al colmo ($Q_{max} =$ circa 150 mc/s) che come volume complessivo (il volume dell'onda al di sopra della portata di 30 mc/s derivabile dal CSNO è stato pari a circa 4,0 Mmc). Ciò è dipeso dalle condizioni di saturazione del bacino provocate dalle precipitazioni del periodo precedente con conseguenti maggiori valori dei coefficienti di deflusso. Si è quindi trattato di un evento in cui, per particolari condizioni iniziali del bacino, a piogge di un dato valore medio del tempo di ritorno ha corrisposto una piena di maggior valore del tempo di ritorno. E, al contrario, negli eventi reali può anche capitare che, per condizioni iniziali particolarmente asciutte del bacino, ad un dato valore del tempo di ritorno delle precipitazioni corrispondano piene di minor valore del tempo di ritorno.

Pertanto la scelta di un evento di riferimento progettuale in cui si ammette che coincidano i tempi di ritorno delle piogge e delle corrispondenti piene e che le condizioni iniziali del

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:					
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND				
						<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>						

bacino siano di tipo standard, è da considerarsi come una scelta legata alla necessità di adottare una definizione dell'evento di riferimento progettuale, comunque a carattere cautelativo, quale strumento per i calcoli da effettuarsi.

In conclusione si ritiene che l'evento contemporaneo centennale, adottato dall'Autorità di Bacino e nel presente progetto, sia compatibile con un adeguato livello di protezione idraulica del territorio, ferma restando la possibilità di condizioni di rischio idraulico residuo in presenza di eventi estremi di maggior valore del tempo di ritorno.

Tuttavia, in relazione all'intensificazione di eventi estremi conosciuta nel periodo più recente (come ad esempio l'eccezionale evento del 15 – 16 novembre 2014) e tale da poter richiedere in avvenire una rielaborazione statistica delle curve di possibilità pluviometrica, può essere necessario prendere in considerazione nelle successive pianificazioni e progettazioni eventi ancora più gravosi di quello centennale preso a riferimento nel presente progetto. Ciò necessariamente implicherà che:

- gli interventi previsti nel presente progetto siano da considerare commisurati al livello di protezione idraulica del territorio corrispondente al tempo di ritorno 100 anni;
- ulteriori futuri interventi atti ad un più elevato livello di protezione idraulica del territorio potranno essere decisi da successive pianificazioni e progettazioni in relazione ad una eventuale nuova ridefinizione di un evento di progetto di maggior tempo di ritorno.

2.2.3 Risultati del modello

In sintesi l'assetto idraulico attuale del Seveso è riassunto nella seguente Tabella 2 ove si riporta, per tratti, la capacità idraulica dell'alveo a confronto con la portata centennale, risultante dalla modellazione, in arrivo nella sezione anche attraverso lo scorrimento laterale o il superamento di manufatti. In tabella i valori risultano arrotondati ai 5 m³/s, mentre tra parentesi è riportato il valore "di modello".

Nella medesima tabella sono riportati i valori della portata idrologica, intesa come la portata teorica presente in alveo, senza la presenza di restringimenti (ponti, tratti tombinati, ecc.), senza fenomeni di allagamento e senza alterazioni derivanti dall'azione di particolari manufatti idraulici (es. derivazione nel CSNO). E' evidente come tale portata sia molto maggiore rispetto alla portata che effettivamente può transitare in alveo (portata idraulica).

<p>PROGETTISTI</p> 	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p> <div>      </div> <p>Consulenti:</p> <div>   </div>						
--	---	--	--	--	--	--	--

Tale differenza mette in evidenza il notevole impatto che le opere interferenti e le aree di esondazione hanno nei confronti della formazione delle piene. Appare pertanto improponibile un'analisi delle portate lungo l'asta principale del Seveso attraverso l'utilizzo di modelli puramente idrologici, ma occorre condurre una modellazione 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.

Tabella 2: Confronto tra la portata idraulica e la portata compatibile in alveo

Sezione	Descrizione	Portata compatibile stato attuale	Portata idraulica stato attuale (T=100)
SV97	Ponte autostrada A9	30 ₍₂₉₎ (T=100)	30 ₍₂₉₎
SV93	Ponte S.S. 35	40 ₍₃₈₎ (T=100)	40 ₍₃₈₎
SV91	Ponte comunale di Casnate	15 ₍₁₅₎ (T=10)	40 ₍₄₂₎
SV87	Ponte S.P.27 (Como)	50 ₍₄₉₎ (T=100)	50 ₍₄₉₎
SV84	Ponte Abbazia Vertemate – Valle confluenza Acquanegra	30 ₍₂₇₎ (T=10)	80 ₍₇₈₎
SV77	Ponte S.P.34 (Como) - Idrometro di Cantù Asnago	35 ₍₃₅₎ (T=10)	60 ₍₅₉₎
SV73	Ponte FFSS Milano Chiasso a Carimate – Valle confluenza Valle Antonio	35 ₍₃₆₎ (T=10)	65 ₍₆₄₎
SV68	Ponte S.P.32 (Como) – confluenza Serenza	35 ₍₃₆₎ (T=10)	65 ₍₆₅₎
SV64	Ponte linea FF.SS. Milano-Chiasso a Lentate sul Seveso	80 ₍₇₇₎ (T=100)	80 ₍₇₇₎
SV57	Ponte di Camnago di Lentate sul Seveso	80 ₍₈₁₎ (T=100)	80 ₍₈₁₎
SV54	Ponte di Via Marconi - Barlassina	55 ₍₅₅₎ (T<100)	85 ₍₈₄₎
SV53	Ponte Superstrada Milano-Meda a Barlassina	85 ₍₈₃₎ (T=100)	85 ₍₈₃₎
SV42	Ponte FNM Seregno-Saronno	85 ₍₈₇₎ (T=100)	85 ₍₈₇₎
SV40	Ponte comunale Cesano Maderno – Valle confluenza T.Certesa	160 ₍₁₆₁₎ (T=100)	160 ₍₁₆₁₎
SV34	Ponte comunale Bovisio Masciago	175 ₍₁₇₆₎ (T=100)	175 ₍₁₇₆₎
SV32	Ponte comunale Bovisio Masciago	85 ₍₈₃₎ (T=10)	165 ₍₁₆₃₎
SV27	Ponte attraversamento Canale Villoresi – a monte presa CSNO	165 ₍₁₆₅₎ (T=100)	165 ₍₁₆₅₎
SV24	Paratoia CSNO – a valle opera di presa	135 ₍₁₃₄₎ (T=100)	135 ₍₁₃₄₎

Mediante la suddetta analisi idrologico-idraulica condotta nell'ambito dello Studio-AIPO-2011 ha portato a definire in corrispondenza dell'opera di presa del CSNO gli idrogrammi di piena relativi all'assetto attuale, per tempi di ritorno 100, 10, 5 e 2 anni, di seguito

rappresentati.

La Figura 3 presenta l'idrogramma di piena per $T = 100$ anni, che risulta caratterizzato da un valore della portata al colmo pari a circa $150 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume dell'onda pari a circa $6,7 \text{ Mm}^3$.

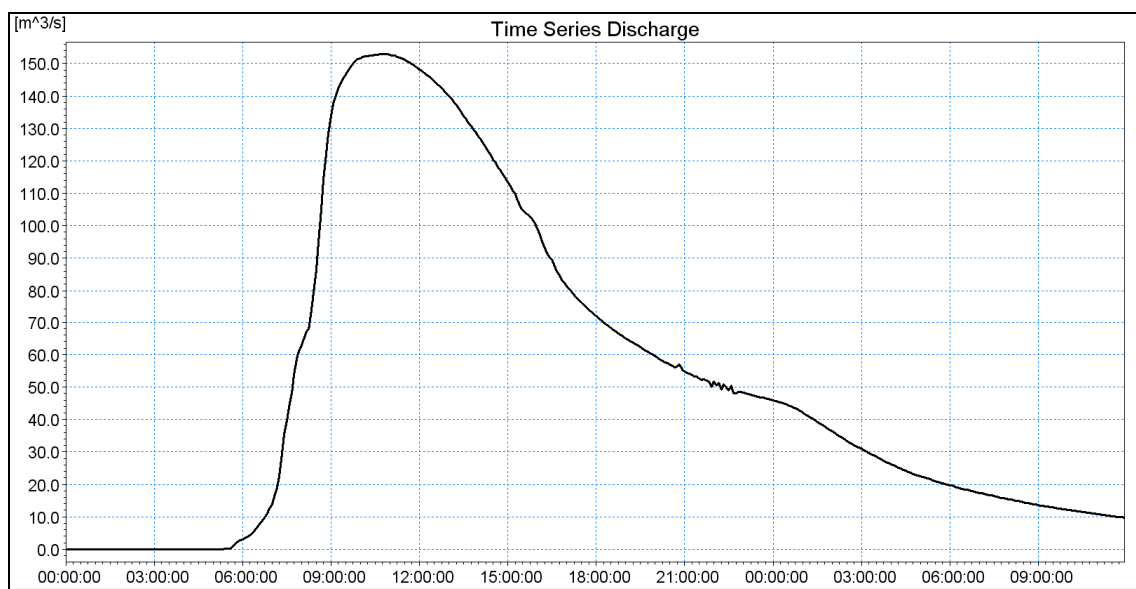


Figura 3 – Idrogramma $T=100$ anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

La Figura 4 presenta l'idrogramma di piena per $T = 10$ anni, che risulta caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $120 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume dell'onda pari a circa $5,0 \text{ Mm}^3$.

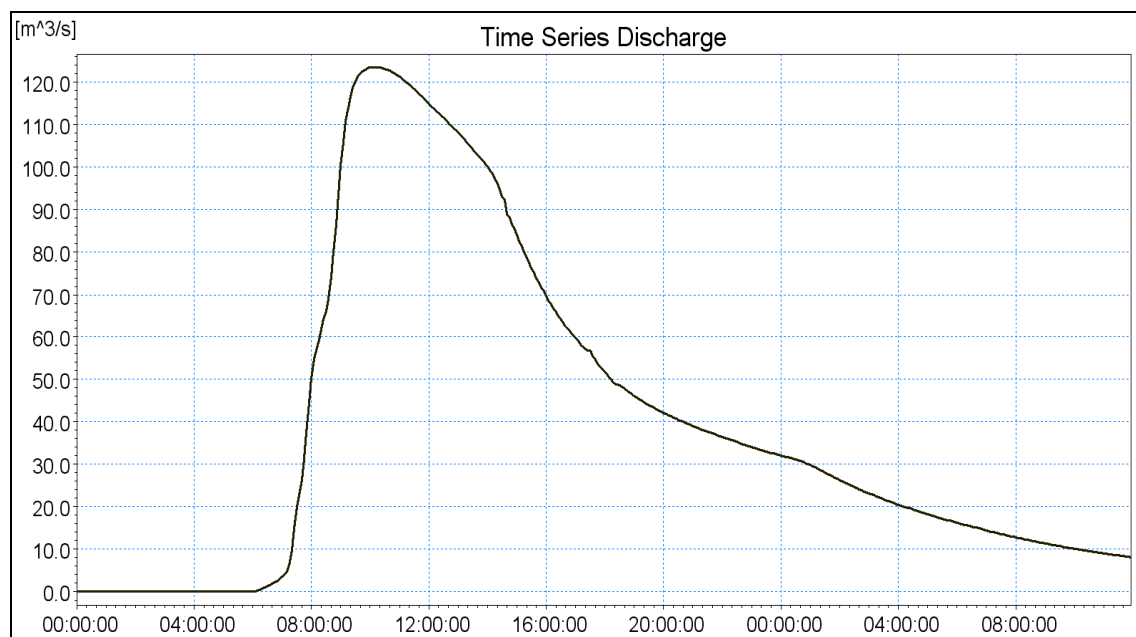


Figura 4 – Idrogramma $T=10$ anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

La Figura 5 presenta l'idrogramma di piena per $T = 5$ anni, che risulta caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume dell'onda pari a circa $4,3 \text{ Mm}^3$.

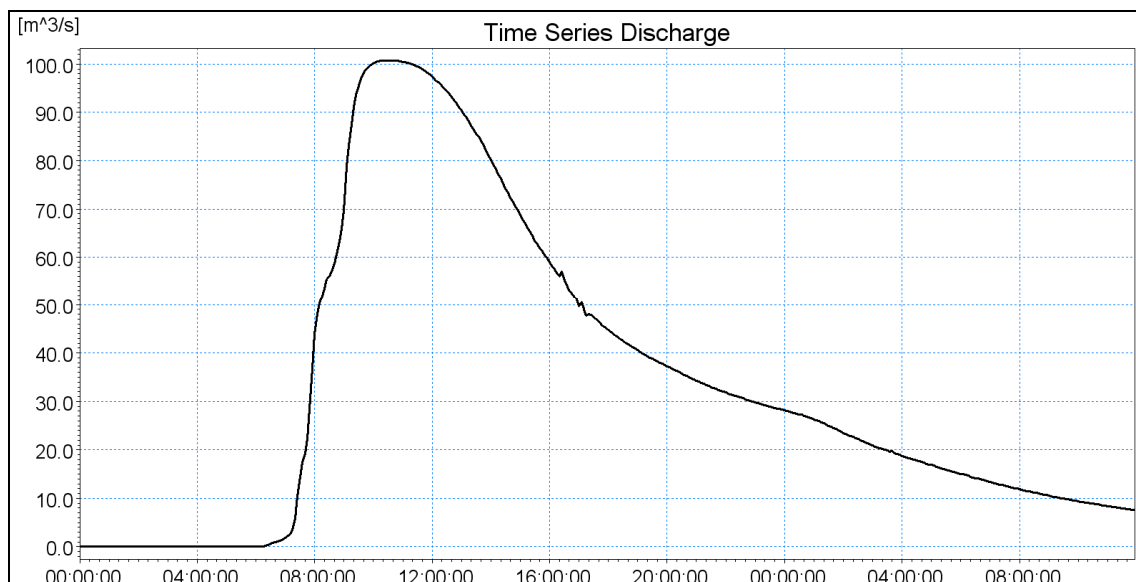


Figura 5 – Idrogramma $T=5$ anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

La Figura 6 presenta l'idrogramma di piena per $T = 2$ anni, che risulta caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume dell'onda pari a circa $2,9 \text{ Mm}^3$.

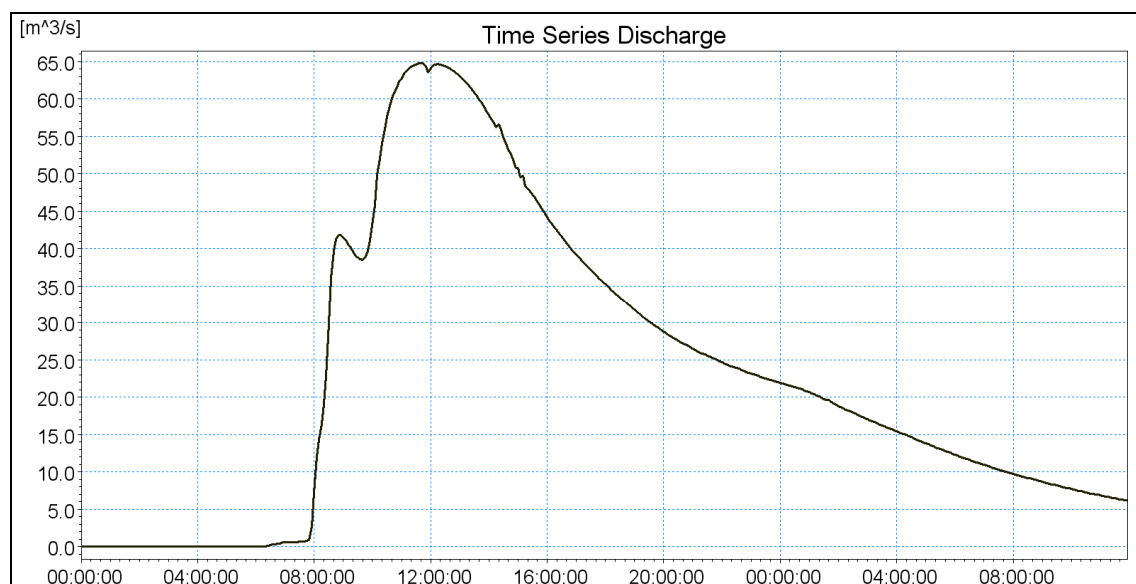


Figura 6 – Idrogramma $T=2$ anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	A.T.P.:					
		 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	 Studio Associato Geologia Spada	 Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	 Prof. Dott. V. Mezzanotte

Considerando che:

- il tratto tombinato del Seveso in Milano, secondo lo “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del torrente Seveso nella tratta compresa tra Palazzolo e Milano nell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona*” (2011) condotto da Metropolitana Milanese S.p.A. per conto del Comune di Milano, è caratterizzato da una portata massima transitante pari a 40 m³/s;
- l’unica opera fondamentale di difesa idraulica del territorio nord-milanese e di Milano attualmente operativa è costituita dal Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO), il quale è in grado di derivare dal Seveso una portata pari a circa 30 m³/s;
- l’apporto meteorico nel Seveso proveniente dal territorio dei comuni della cintura nord-milanese a valle della presa del CSNO a Palazzolo può da solo superare, negli eventi più intensi, la suddetta capacità idraulica di portata del tratto tombinato in Milano del sistema Seveso-Redefossi,

si ha che il grado di insufficienza del Seveso, con particolare riferimento al tratto terminale in attraversamento della Città di Milano, è molto elevato, anche per ridotti valore del tempo di ritorno. Secondo i dati disponibili, a Milano dal 1976 ad oggi si sono avute ben 104 esondazioni (in media 2,7 esondazioni all’anno). Negli ultimi anni sono stati particolarmente critici il 2010, durante il quale si sono verificate 8 esondazioni (03/05, 14/05, 23/07, 05/08, 12/08, 18/09, 01/11, 16/11), di cui particolarmente grave quella del 18 settembre, e il 2014, in quanto nel periodo 25 giugno ÷ 16 novembre si sono manifestate 8 esondazioni tra cui particolarmente gravose quelle dell’8 luglio e del 15-16 novembre nel corso delle quali si sono generate portate defluenti prossime a 100 anni di tempo di ritorno, che hanno causato diverse gravi situazioni di allagamento non solo a Milano – Niguarda ma anche in altri comuni lungo l’asta del Seveso.

2.3 EFFETTI DELLE POLITICHE DI “INVARIANZA IDRAULICA” E DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE (LAMINAZIONI E INFILTRAZIONI “URBANE” DIFFUSE E CONCENTRATE).

Gli studi AIPO sul bacino del Seveso (lo Studio di Fattibilità 2011 e lo Studio Integrativo 2011 sull’Invarianza idraulica, ai quali si rimanda) dimostrano l’effetto benefico conseguente all’adozione di strategie politiche e regolamentari, quanto più possibile cogenti, di “*Invarianza idraulica*” e di drenaggio urbano sostenibile con laminazioni e infiltrazioni

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:						
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>				

urbane, diffuse o concentrate, a monte degli scarichi di piena nei corsi d'acqua ricettori.

Pertanto i medesimi studi dimostrano anche, con molteplici simulazioni modellistiche alle quali si rimanda, che tali strategie e politiche, pur avendo grande validità nel limitare i deflussi e gli allagamenti urbani, risultano avere una minore efficacia nella limitazione degli scarichi di piena fognari nei corsi d'acqua. Ciò è legato al fatto che le canalizzazioni fognarie (sia quelle dei sistemi fognari misti, sia quelle esclusivamente pluviali dei sistemi separati) sono progettate e realizzate, né può e deve essere altrimenti per non trasferire i problemi a valle, per tempi di ritorno ridotti, mediamente di 5 – 10 anni. Pertanto le portate massime immesse nel corso d'acqua dagli scaricatori di piena nel corso di eventi di elevato tempo di ritorno, come l'evento centennale di riferimento progettuale, sono già comunque limitate a causa di tali dimensionamenti ai quali consegue l'insorgere di sovraccarichi fognari ed esondazioni nelle aree urbane.

Dunque le auspicabili strategie di Invarianza Idraulica e di drenaggio urbano sostenibile con laminazioni e infiltrazioni urbane diffuse o concentrate potranno avere grande efficacia nel limitare le esondazioni e quindi il livello di rischio idraulico interno delle aree urbane, ma avranno ridotta efficacia nel limitare gli scarichi urbani di piena, che già oggi sono di fatto limitati, e quindi il loro contributo alla generazione delle piene del Seveso e degli altri corsi d'acqua.

Gli interventi di laminazione del Seveso di cui trattasi manterranno quindi pienamente la loro validità anche se in futuro diverranno auspicabilmente operative le suddette politiche di invarianza idraulica e di drenaggio urbano sostenibile.

2.4 ASSETTO DI PROGETTO DEL F. SEVESO

Sulla base delle analisi idrologica e idraulica relative allo stato di fatto sono state condotte mediante il medesimo modello MIKE 11 di cui allo *Studio AIPO-2011* le indagini volte ad individuare le migliori soluzioni progettuali idonee ad una completa sistemazione idraulica del corso d'acqua, supportando le scelte con analisi di fattibilità tecnica, economica ed ambientale delle opere.

Come già detto si tratta di interventi commisurati all'evento centennale adottato dall'Aurità di Bacino. Ulteriori futuri interventi atti ad un più elevato livello di protezione idraulica del territorio potranno essere decisi da successive pianificazioni e progettazioni in relazione ad

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agazia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

una eventuale nuova ridefinizione di un evento di progetto di maggior tempo di ritorno.

Gli interventi devono tenere in conto delle caratteristiche prevalentemente naturali del corso d'acqua nel tratto fino a Lentate sul Seveso e delle pesanti modificazioni antropiche intervenute nel tratto tra il comune di Lentate sul Seveso fino a nord di Milano.

Come già esposto nell'analisi dello stato di fatto, nel primo tratto le criticità presenti durante gli eventi di piena sono legate essenzialmente alla presenza di alcuni manufatti insufficienti che creano allagamenti localizzati in aree urbanizzate e all'interessamento di aree golenali destinate a coltivazioni.

Il criterio di progetto in tale zona è associato prevalentemente al mantenimento delle aree di allagamento naturale che interessano le zone golenali, ma migliorando, ove possibile, le capacità di laminazione dell'onda di piena, e nella difesa dagli allagamenti delle aree in cui tali fenomeni risultano incompatibili (centri abitati).

Il tratto compreso tra Lentate sul Seveso e Milano presenta ben maggiori livelli di problematicità, soprattutto con riferimento al tratto prossimo al capoluogo lombardo: l'alveo del Seveso, a causa della pressione antropica, ha assunto una conformazione tale per cui si ha una diffusa insufficienza delle sezioni e dei manufatti nei riguardi delle portate di piena, anche di non elevata entità, soprattutto nel tratto terminale, cioè quando il corso d'acqua si avvicina e si immette in Milano: la portata al colmo con tempo di ritorno pari a 100 anni in ingresso a Milano è pari a circa $150 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre la portata compatibile con il tratto tombinato è pari a circa $30\div40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Poiché, come già messo in evidenza nello studio *AdBPo-2004*, l'apporto meteorico proveniente dal territorio dei comuni a valle del CSNO supera da solo tale capacità idraulica di portata del tratto tombinato del sistema Seveso-Redefossi, è necessario che gli interventi da prevedersi nell'assetto di progetto dell'intera asta del T. Seveso a monte della presa del CSNO consentano di annullare la portata nel Seveso a valle di tale opera di presa. Questo implica che la portata in arrivo da monte, convenientemente limitata per effetto di importanti laminazioni poste lungo l'asta del Seveso, deve poter essere totalmente deviata nel CSNO.

Più precisamente, dato che la portata di piena a 100 anni di tempo di ritorno nel T. Seveso a monte della presa del CSNO è pari a circa $150 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre la capacità idraulica del primo tratto del CSNO è pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (dalla presa fino a monte dell'intersezione con il T. Garbogera, in funzione degli interventi di raddoppio già realizzati), occorre ridurre con

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:					
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

laminazioni la portata di piena del Seveso a monte di tale opera di presa.

Inoltre, considerato che il progetto definitivo relativo ai “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781*” di AIPO e della Provincia di Milano (attualmente in fase di avvio dei lavori), ha come obbiettivo quello di garantire nel CSNO nella sezione immediatamente a monte dell’immissione del sfioro del T. Garbogera, una portata massima di 25 m³/s, occorre prevedere che anche lungo il primo tratto del CSNO siano disposte opere di laminazione in grado di ridurre la portata di piena centennale derivata dal Seveso fino a tale valore.

Per quanto concerne l’insieme delle caratteristiche influenti sugli interventi di progetto, sicuramente la zona di alveo canalizzato ed urbanizzato nel tratto tra Lentate sul Seveso fino al limite dello studio (presa del CSNO) rappresenta l’ambito dove gli interventi risentono maggiormente dei vincoli esistenti e dove pertanto risulta più difficile l’indicazione di soluzioni idonee. In particolare si è riscontrata l’estrema difficoltà di reperire aree di notevole estensione da adibire a cassa di espansione, a causa soprattutto della profondità del fondo alveo rispetto al piano campagna e della notevole pressione antropica che si spinge frequentemente sino alle sponde. Si è inoltre verificato come sia l’alto bacino del torrente Seveso (sino a Carimate) sia il bacino del torrente Certesa (sino a Meda) non presentino caratteristiche morfologiche tali da poter accogliere estesi sistemi di laminazione in grado di ridurre notevolmente le portate verso valle.

L’individuazione di laminazioni mediante volumi d’invaso esterni alla regione fluviale, in grado di fornire adeguati volumi di espansione per la riduzione delle portate in alveo, è stata impostata in base alla seguente valutazione.

Poiché l’onda di piena del T. Seveso (T=100 anni) a monte del CSNO è caratterizzata da un volume di circa 6,7 Mm³ e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di 25 m³/s (0 a valle della presa del CSNO e 25 m³/s nel CSNO a monte dell’immissione dello sfioro del T. Garbogera), il volume di laminazione complessivamente necessario è pari a circa 4,4 Mm³, come emerge dal grafico seguente in cui si è ammesso, per una valutazione preliminare, che il complesso delle laminazioni sia disposto in derivazione e con un effetto di “taglio” a portata costante (teoria della laminazione ottimale). Sono qui di seguito esposte le più precise determinazioni dell’effetto di laminazione realmente ottenibile, rimuovendo l’ipotesi di taglio a portata costante, con la successione degli invasi di

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div>      </div>						Consulenti:  
---	--	--	--	--	--	--	--

laminazione in progetto in relazione alle configurazioni adottate per le rispettive opere di presa.

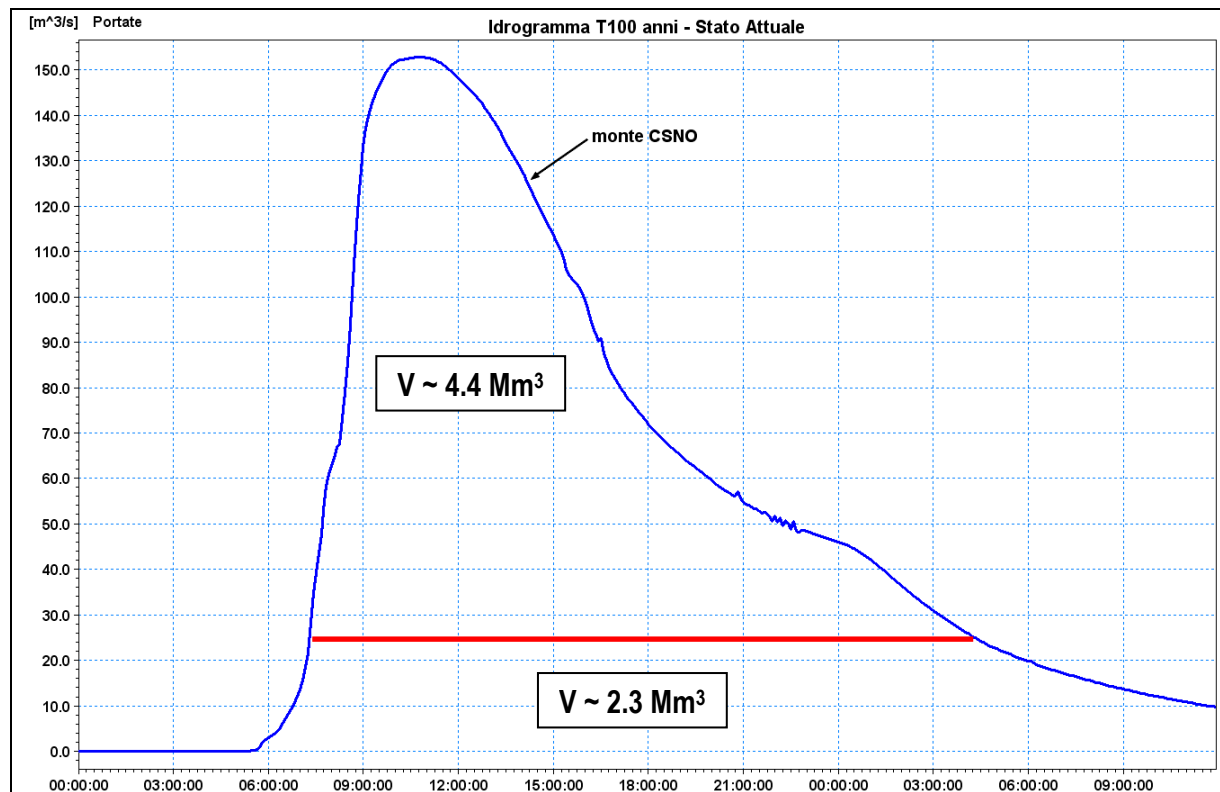


Figura 7 – Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del CSNO. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel CSNO a valle di Senago (intersezione con il T. Garbogera)

In tale scenario, analizzando la situazione del medio bacino del torrente, si è riscontrato che l'unica consistente possibilità, data la limitazione degli spazi disponibili, è quella di realizzare i desiderati volumi di laminazione mediante scavi piuttosto profondi in aree da attrezzare e restituire alla fruizione pubblica come aree verdi. Solo tramite tali opere è infatti possibile recuperare le volumetrie necessarie, dal momento che l'eventuale diversa soluzione di reperire tali volumetrie "in elevazione", cioè mediante classiche casse di espansione con arginature e manufatti di regolazione, imporrebbe "de-urbanizzazioni" del territorio di tale entità (vastità delle superfici da asservire) da risultare di impossibile attuazione.

In particolare, a seguito di una vasta analisi dello stato del corso d'acqua e del territorio ad esso limitrofo, lo *Studio-AIPo-2011* giunge a porre alla base dell'assetto di progetto del T. Seveso le seguenti possibili aree di laminazione indicate nelle planimetrie della Figura 8 e

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div>     </div>						Consulenti:  
---	--	--	--	--	--	--	--

della Figura 9:

- aree esondabili di laminazione “golenale” a Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate (volume di laminazione complessivo pari a circa 220'000 m³);
- opere di laminazione in scavo lungo il T. Seveso a Lentate sul Seveso (850'000 m³ di invaso), Varedo (1'500'000 m³), Paderno Dugnano (950'000 m³);
- opere di laminazione in scavo lungo il CSNO a Senago (1'000'000 m³).

Naturalmente si evince che, dati i suddetti volumi invasabili, le quattro opere di laminazione indicate nei punti b) e c) assumono importanza strategica, dal momento che con esse si raggiunge l'obiettivo di poter trattenere un volume pari a 4,3 Mm³.

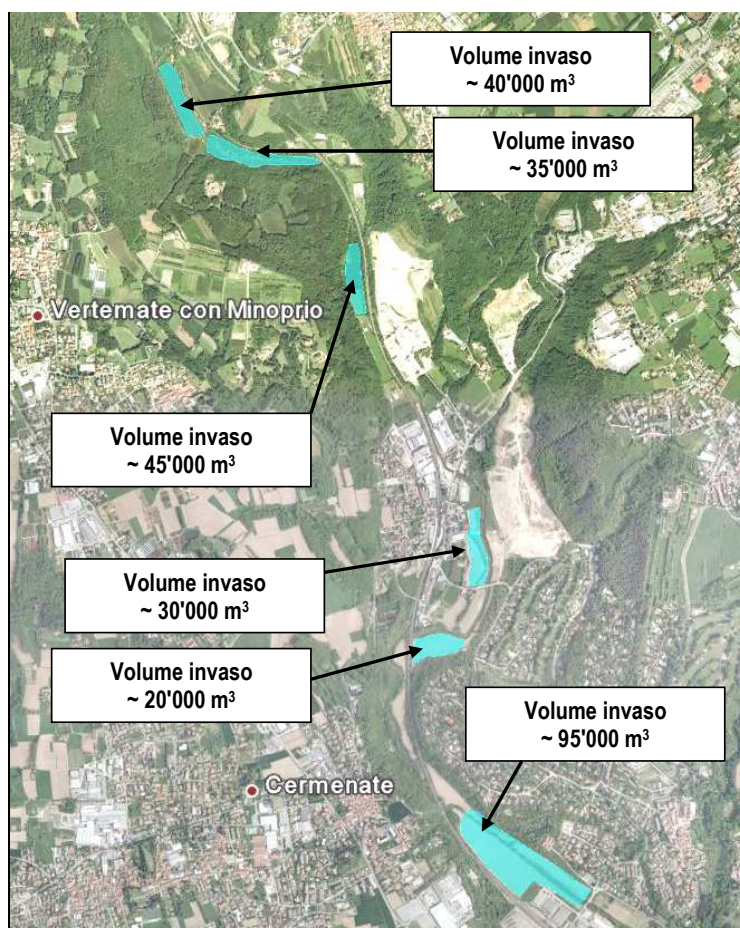


Figura 8 – Invasi di laminazione in aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:						
 Agenza Interregionale per il fiume Po		 STUDIO PAOLETTI		 INGEGNERI ASSOCIATI		 WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS		 Studio Associato Geologia Spada		 Dott. Ing. A. Barbon		 Prof. Dott. V. Mezzanotte	

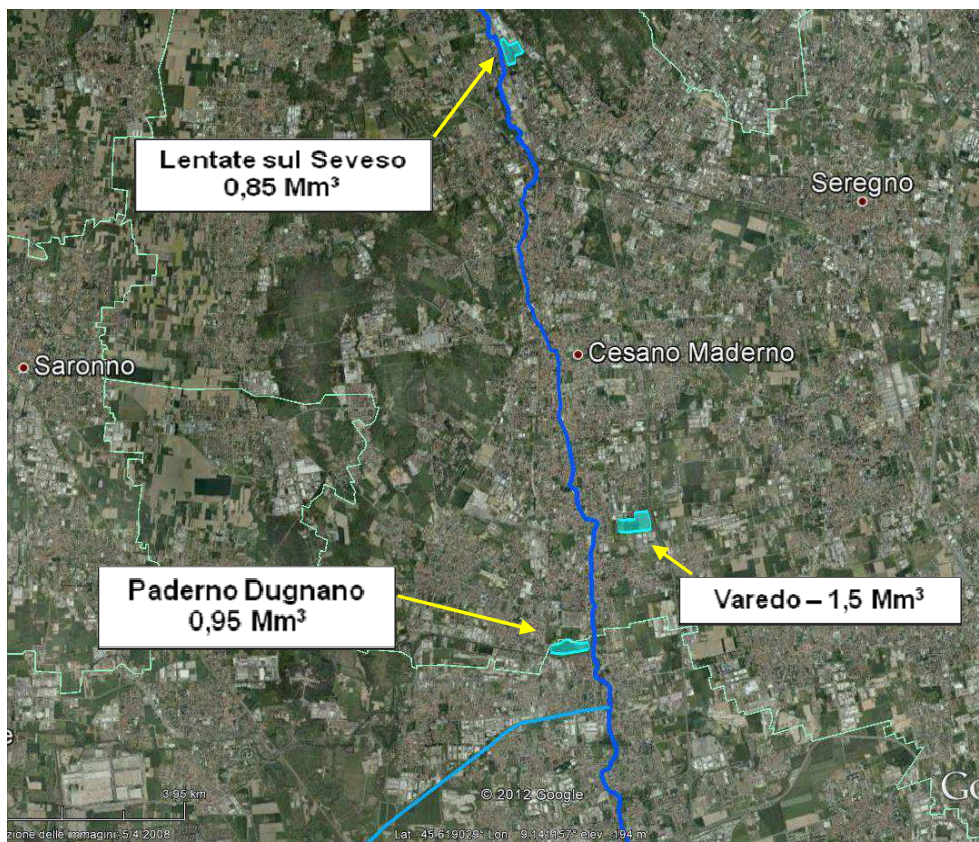


Figura 9 – Invasi di laminazione in scavo da Lentate sul Seveso al CSNO

In dettaglio, la successione degli effetti laminanti delle suddette opere di laminazione previste lungo l'asta del Seveso è misurabile attraverso l'analisi degli idrogrammi di piena risultanti dalla modellazione idrodinamica a monte e valle di ciascuna di esse.

2.4.1 Laminazioni golenali a Vertemate con Minoprio (volumi invasabili 120'500 m³)

Essendo previsto un funzionamento in derivazione con portata di inizio sfioro di circa 20 m³/s risultano gli idrogrammi di piena riferiti al tempo di ritorno 100 anni indicati in Figura 10:

- a monte delle aree di laminazione (stato attuale e stato di progetto coincidenti non essendo previste opere a monte): Q max (T=100): 57 m³/s
- a valle delle aree di laminazione: Q max (T=100): 43 m³/s

La figura mostra inoltre che lo sfioro avviene anche in presenza di eventi di tempo di ritorno di 10 e 5 anni, con conseguente laminazione dei medesimi.

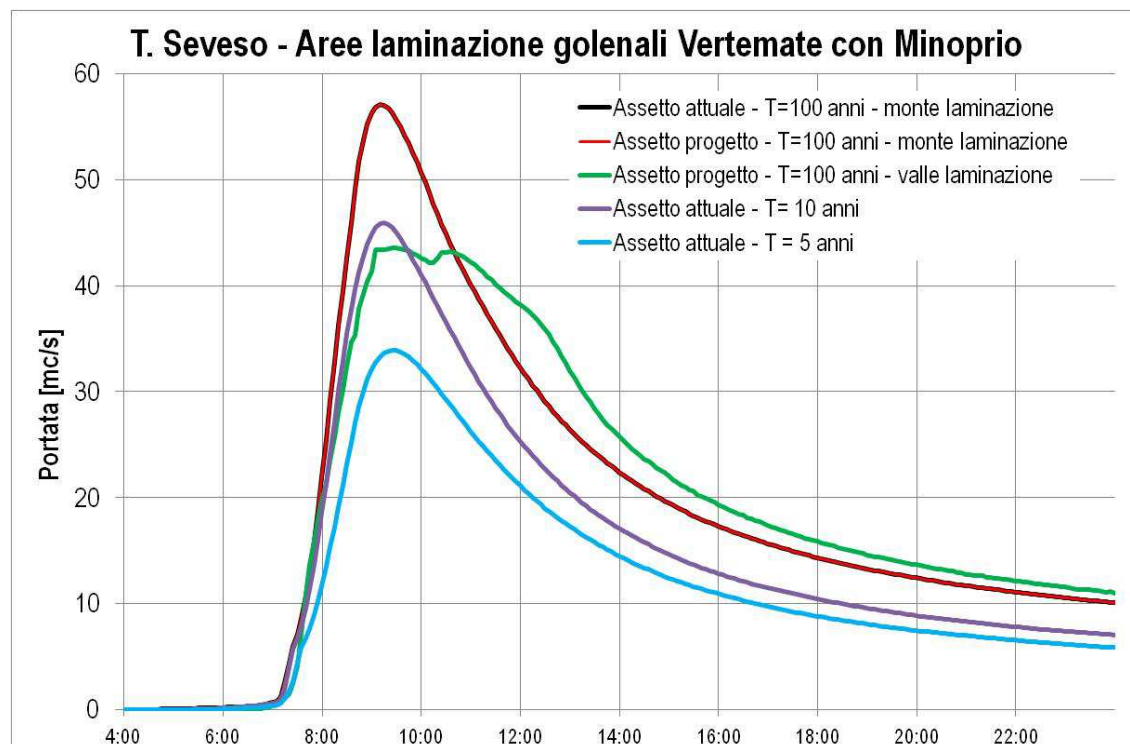


Figura 10 – Idrogrammi di piena a monte e valle delle aree golenali di laminazione di Vertemate con Minoprio

2.4.2 Laminazioni golenali a Cermenate e Cantù (volumi invasabili 126'500 m³)

Essendo previsto un funzionamento in derivazione con portata di inizio sfioro di circa 30 m³/s risultano gli idrogrammi di piena riferiti al tempo di ritorno 100 anni indicati in Figura 11:

- a monte delle aree di laminazione per lo stato attuale: Q max (T=100): 61 m³/s
- a monte delle aree di laminazione per lo stato di progetto: Q max (T=100): 55 m³/s
- a valle delle aree di laminazione: Q max (T=100): 47 m³/s

La figura mostra inoltre che lo sfioro avviene anche in presenza di eventi di tempo di ritorno di 10 e 5 anni, con conseguente laminazione dei medesimi.

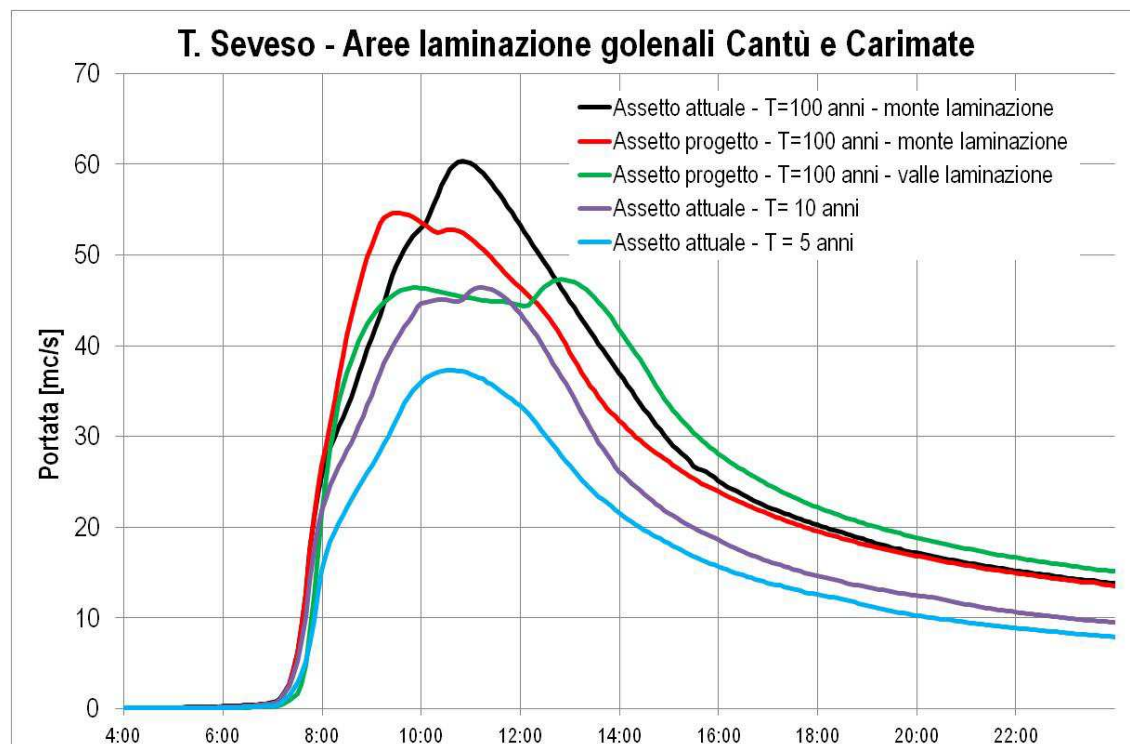


Figura 11 – Idrogrammi di piena a monte e valle delle aree golenali di laminazione di Cermenate e Cantù

2.4.3 Laminazione nella vasca in scavo di Lentate sul Seveso (volume invasabile 815.000 m³)

Essendo previsto un funzionamento in derivazione con portata di inizio sfioro di circa 25 m³/s risultano gli idrogrammi di piena riferiti al tempo di ritorno 100 anni indicati in Figura 12:

- a monte delle aree di laminazione per lo stato attuale: $Q_{\max} (T=100): 77 \text{ m}^3/\text{s}$
- a monte delle aree di laminazione per lo stato di progetto: $Q_{\max} (T=100): 73 \text{ m}^3/\text{s}$
- a valle delle aree di laminazione: $Q_{\max} (T=100): 40 \text{ m}^3/\text{s}$

La figura mostra inoltre che lo sfioro avviene anche in presenza di eventi di tempo di ritorno di 10 e 5 anni, con conseguente laminazione dei medesimi.

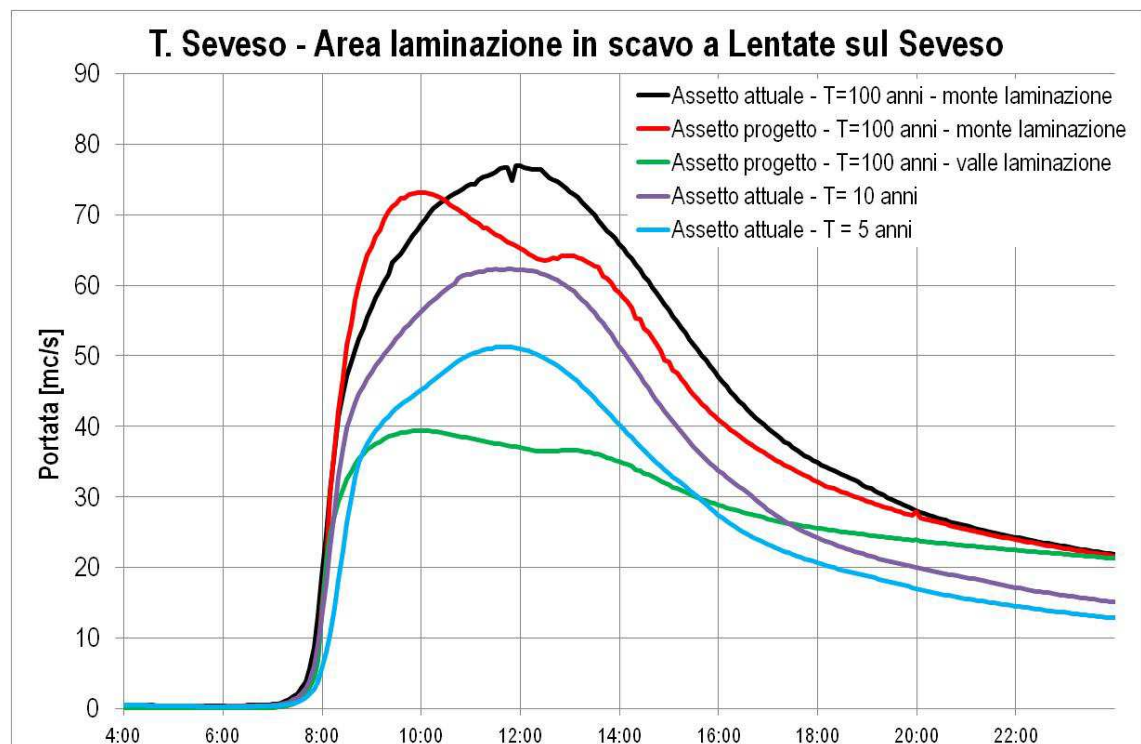


Figura 12 - Idrogrammi di piena a monte e valle della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso

2.4.4 Laminazione nella vasca in scavo di Varedo (volume invasabile 1.500.000 m³)

Essendo previsto un funzionamento in derivazione con portata di inizio sfioro di circa 25 m³/s risultano gli idrogrammi di piena riferiti al tempo di ritorno 100 anni indicati in Figura 13:

- a monte delle aree di laminazione per lo stato attuale: $Q_{max} (T=100): 150 \text{ m}^3/\text{s}$
- a monte delle aree di laminazione per lo stato di progetto: $Q_{max} (T=100): 132 \text{ m}^3/\text{s}$
- a valle delle aree di laminazione: $Q_{max} (T=100): 71 \text{ m}^3/\text{s}$

La figura mostra inoltre che lo sfioro avviene anche in presenza di eventi di tempo di ritorno di 10 e 5 anni, con conseguente laminazione dei medesimi.

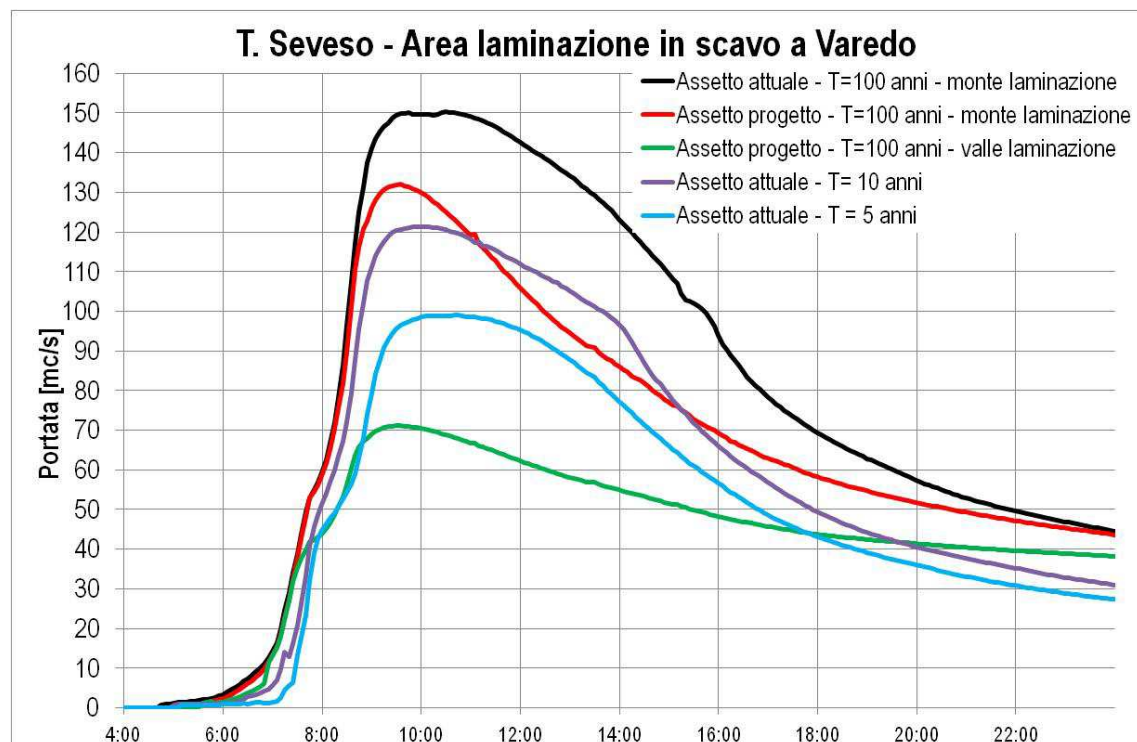


Figura 13– Idrogrammi di piena a monte e valle della vasca di laminazione di Varedo

2.4.5 Laminazione nella vasca in scavo di Paderno Dugnano (volume invasabile 930.000 m³)

Essendo previsto un funzionamento in derivazione con portata di inizio sfioro di circa 22 m³/s risultano gli idrogrammi di piena riferiti al tempo di ritorno 100 anni indicati in Figura 14:

- a monte delle aree di laminazione per lo stato attuale: Q max (T=100): 153 m³/s
- a monte delle aree di laminazione per lo stato di progetto: Q max (T=100): 75 m³/s
- a valle delle aree di laminazione: Q max (T=100): 48 m³/s

La figura mostra inoltre che lo sfioro avviene anche in presenza di eventi di tempo di ritorno di 10 e 5 anni, con conseguente laminazione dei medesimi.

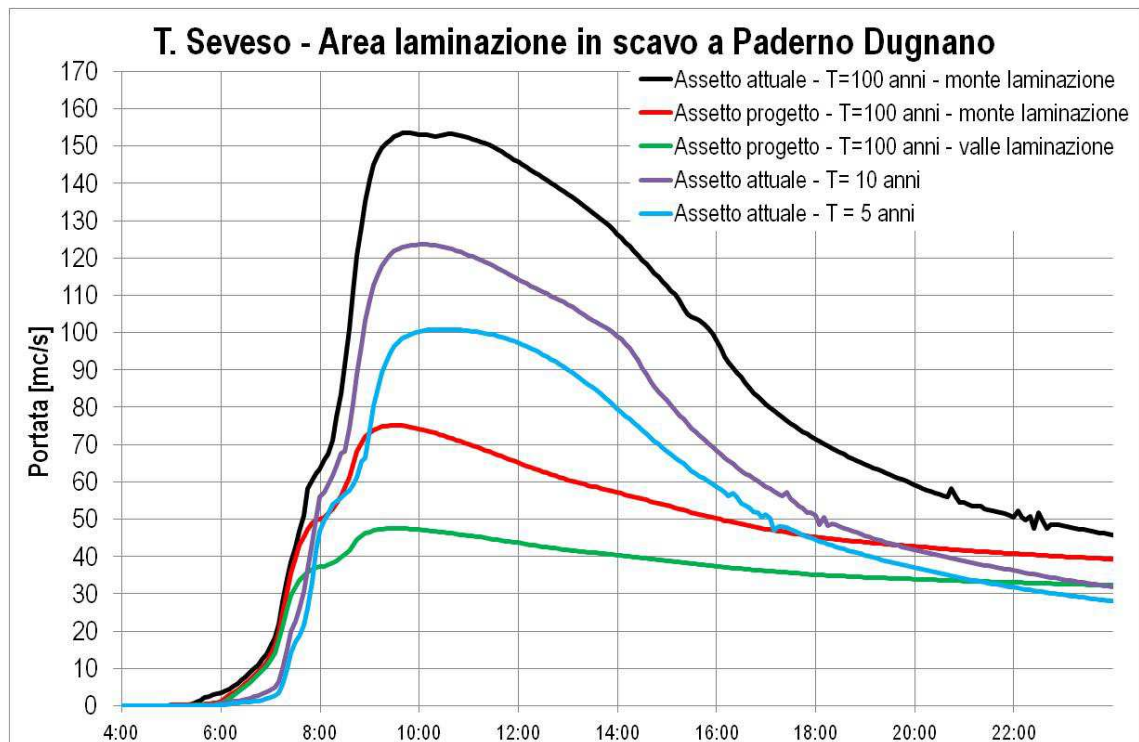


Figura 14 – Idrogrammi di piena a monte e valle della vasca di laminazione di Paderno Dugnano

L'effetto complessivo della successione dei suddetti invasi di laminazione è quindi tale da ridurre a circa 48 m³/s la portata centennale di piena in arrivo presso la presa del CSNO a Palazzolo, in una misura pertanto pienamente compatibile con la totale deviazione della stessa nel CSNO.

2.5 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI PADERNO DUGNANO

Per quanto riguarda l'invaso di laminazione in Comune di Paderno Dugnano e oggetto del presente progetto definitivo, sono state valutate diverse configurazioni ma la ridotta disponibilità di aree non edificate e i forti vincoli al contorno (presenza edifici residenziali e industriali, localizzazione della pista ciclabile in rilevato di recente realizzazione, presenza di terreni inquinati che necessitano di bonifica, quote del terreno, ecc.), hanno fortemente vincolato le scelte progettuali, portando alla scelta della configurazione riportata nella seguente Figura 15.

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">    <div style="text-align: center;"> <i>Studio Associato Geologia Spada</i> </div> <div style="text-align: center;"> <i>Dott. Ing. A. Barbon</i> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  </div> <div style="text-align: center;"> <i>Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte</i> </div> </div>				
--	--	--	--	--	--

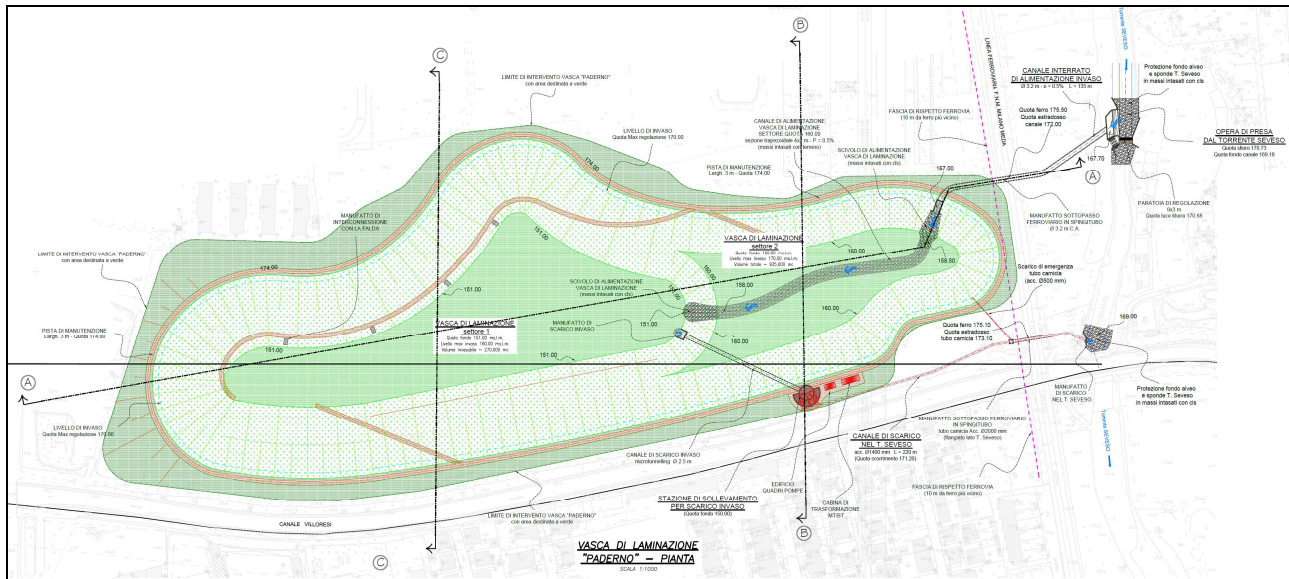


Figura 15 – Schema Planimetrico vasca di Paderno Dugnano

2.5.1 Analisi evento per T=100 anni

L'invaso di laminazione di Paderno Dugnano è localizzato 2 km a valle di quello di Varedo e circa 1 km a monte rispetto al manufatto di presa del CSNO a Palazzolo Milanese.

A monte di esso è prevista la realizzazione della serie già richiamata di aree di laminazione in zone esondabili (Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate) e delle ulteriori due vasche di laminazione in scavo (Lentate sul Seveso e Varedo).

Le prime permettono una ridotta, ma comunque importante, laminazione dell'onda di piena del Seveso, soprattutto con riferimento ai tratti di alveo posti immediatamente a valle delle stesse. Appena a valle dell'ultima laminazione infatti la portata centennale al colmo nell'assetto di progetto è pari a circa $47 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre il valore calcolato nel modello nello stato di fatto è pari a $57 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volume complessivamente sottratto all'onda di piena centennale del T. Seveso pari a circa $245'000 \text{ m}^3$ (5% dell'intero volume di laminazione necessario per raggiungere gli obiettivi prefissati nell'assetto di progetto del T. Seveso).

L'effetto di laminazione generato da tali invasi tende ad affievolirsi procedendo verso valle. Si sottolinea però che, pur generando una limitata riduzione della portata di picco nelle zone più a valle, la presenza a monte delle vasche di laminazione in aree di esondazione risulta fondamentale in termini di volumi d'acqua trattenuti.

Le vasche di laminazione in scavo di Lentate sul Seveso e di Varedo svolgono invece una

<p>PROGETTISTI</p> 	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div data-bbox="306 152 512 246">  </div> <div data-bbox="512 152 762 246">  </div> <div data-bbox="762 152 890 246">  </div> <div data-bbox="890 152 1023 246">  </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div data-bbox="1023 152 1155 246"> <p>Dott. Ing. A. Barbon</p> </div> <div data-bbox="1155 152 1326 246">  </div> <div data-bbox="1326 152 1505 246"> <p>Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte</p> </div> </div>					
--	--	--	--	--	--	--

funzione indispensabile in termini di riduzione sia della portata di picco sia dei volumi d'acqua trattenuti. In particolare, la vasca di Lentate è caratterizzata da un volume utile di invaso di circa 815'000 m³ mentre la vasca di Varedo è caratterizzata da un volume utile di invaso di circa 1'500'000 m³. L'effetto congiunto di tutte le vasche di laminazione in progetto a monte di quella di Paderno Dugnano permette di ridurre la portata di picco centennale alla sezione di presa di quest'ultima al valore di 75 m³/s, a fronte di una portata di picco centennale nella condizione di stato di fatto di 152.9 m³/s.

Si sottolinea come i valori di portata risultino elevati non solo con riferimento ad un evento di piena centennale, ma anche considerando eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno ben inferiori. Infatti, nell'assetto attuale, l'idrogramma di piena a monte del manufatto di presa della vasca di Paderno Dugnano relativo a 10 anni di tempo di ritorno è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa 124 m³/s e, per 5 anni di tempo di ritorno, pari a circa 101 m³/s (Figura 16).

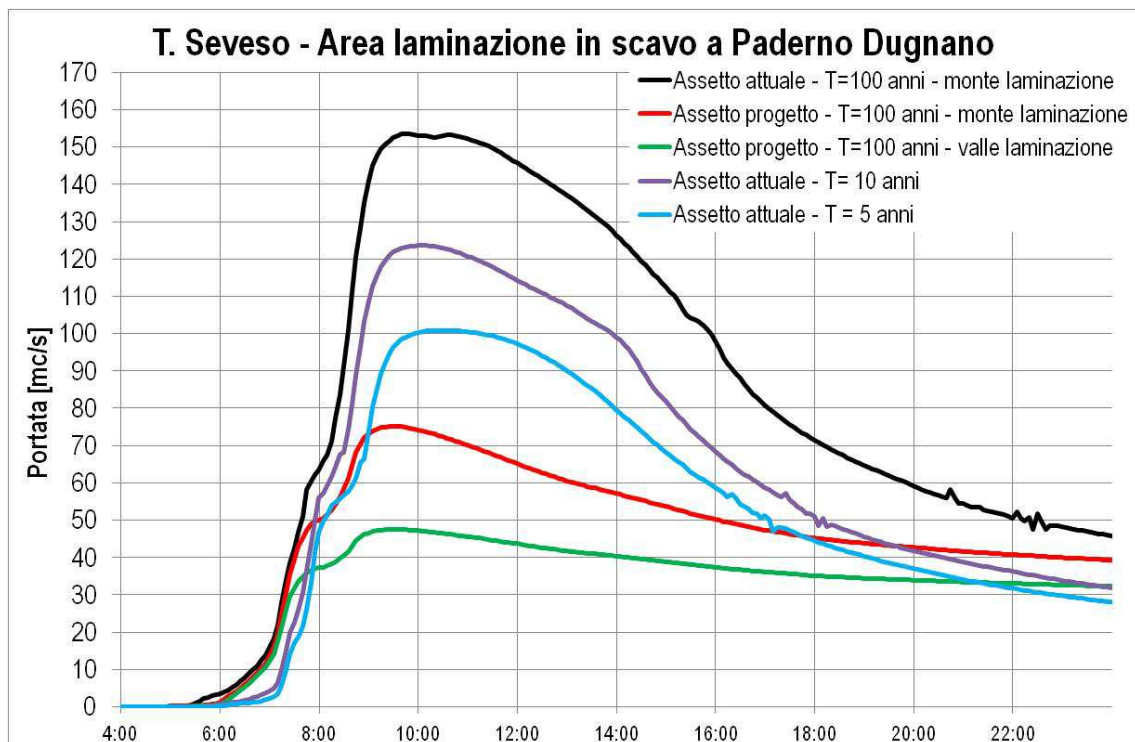


Figura 16 – Invaso di Paderno Dugnano: idrogrammi di piena attuali e di progetto.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						
		A.T.P.:						
 AIPO <small>Agenzia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>		Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte

Si riporta inoltre uno stralcio dello schema planimetrico di progetto del punto di sfioro del Torrente Seveso con indicata la suddivisione delle portate sfiorate e lasciate defluire in alveo, con riferimento ad un evento di tempo di ritorno centennale (Figura 17).

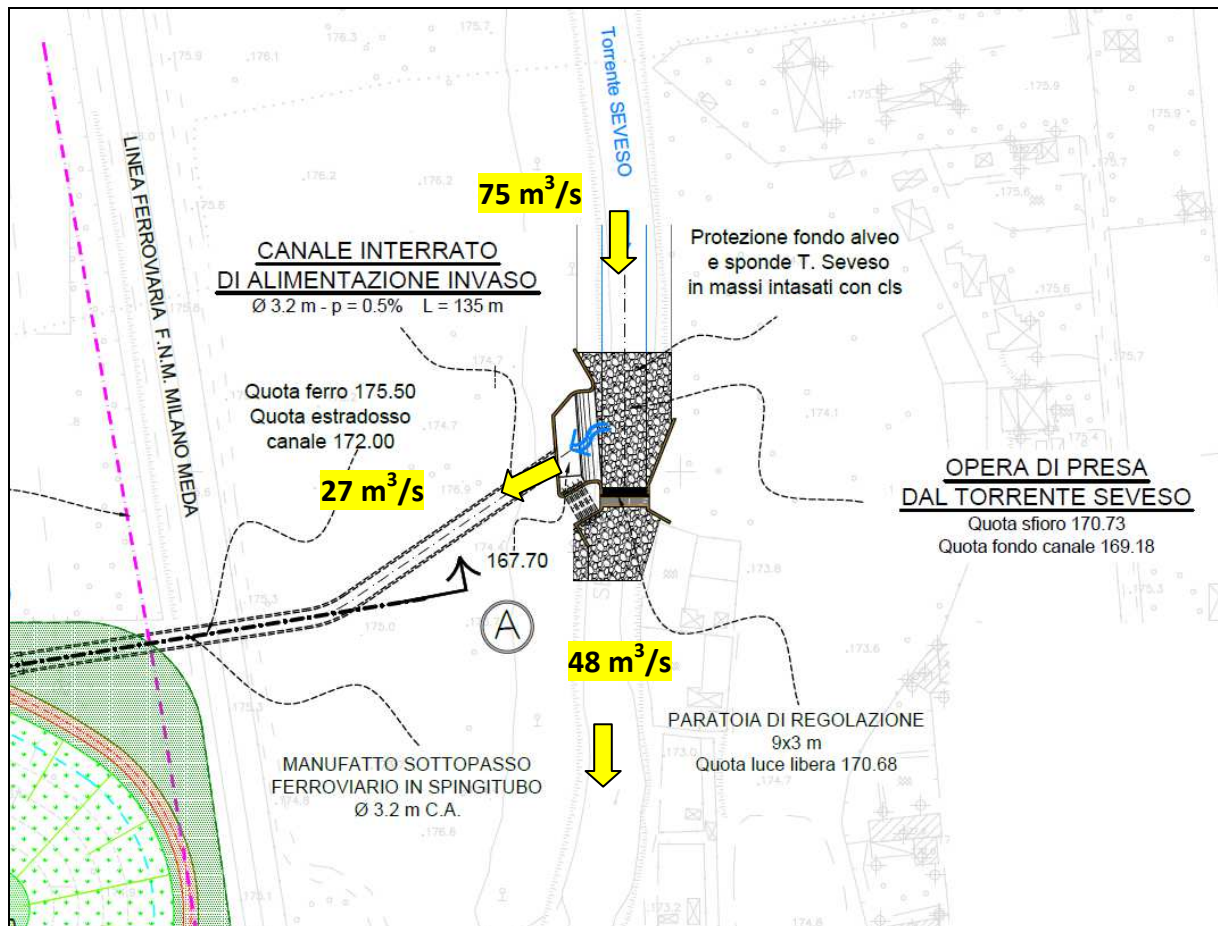


Figura 17 – Schema planimetrico del sistema idraulico della vasca di laminazione di Paderno Dugnano (T=100 anni)

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:					
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

3. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO

3.1 GENERALITÀ

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico della *Vasca di laminazione sul Torrente Seveso in Comune di Paderno Dugnano* sono le seguenti (per una descrizione più dettagliata si rimanda alla “*Relazione tecnica generale*”, elaborato A.1):

- vasca di laminazione suddivisa in n. 2 settori a quote differenti, fuori linea rispetto al T. Seveso, per una superficie totale di tutta l’area di intervento di 117'300 m² ed un volume di laminazione utile complessivo di circa 930'000 m³. I due settori di vasca sono liberamente comunicanti ma presentano quote al fondo differenti. In particolare, il settore 1 più profondo presenta quota del fondo pari 151.00 m s.m. mentre il settore 2 più superficiale presenta quota del fondo pari a 160.00 m s.m.. Le portate provenienti dal manufatto di presa si immettono nella vasca nel settore 2 e, attraverso un canale a sezione trapezia ed uno scivolo in massi vengono indirizzate al settore 1 più profondo. Raggiunto il livello di 160.0 m s.m., corrispondente ad un volume di invaso di circa 270'000 m³, l’acqua comincia ad invasarsi anche nel settore 2 fino a raggiungere il massimo livello di invaso pari a 170,0 m s.m. ed un corrispondente volume complessivo d’invaso di 930.000 m³. La vasca può essere svuotata parzialmente a gravità (per i primi 50 cm di invaso corrispondenti a circa 42'000 m³) e per il volume rimanente tramite solo tramite sollevamento dimensionato su di una portata massima di circa 5 mc/s;
- opera di presa dal T. Seveso realizzata attraverso la riconfigurazione locale dell’alveo con un canale artificiale a sezione trapezia largo 9.0 m alla base con sponde inclinate di 45° , una soglia di sfioro laterale lunga 18 m con quota in sommità pari a 170.73 m s.m. ed un restringimento a valle dello sfioratore, necessario per imporre una sezione di controllo, dotato di una paratoia di regolazione a sezione rettangolare con base di 9.0 m e fondo a quota 170.68 m s.m.;
- condotta interrata a sezione circolare DN320 in c.a. da presa Seveso alla vasca e lunghezza 135 m di alimentazione della vasca e di attraversamento della linea ferroviaria FNM Milano-Meda;

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- canale a sezione trapezoidale con base di 4.00 m, altezza minima di 2.00 m e pareti inclinate di 45°, di convogliamento delle portate in ingresso alla vasca di laminazione verso il settore più profondo;
- stazione di sollevamento delle acque invase nella vasca di laminazione non scaricabili a gravità e condotta di mandata DN1400 in acciaio per lo scarico nel T. Seveso.

Nei seguenti paragrafi vengono descritti i dimensionamenti idraulici effettuati per le diverse opere che costituiscono il sistema idraulico della vasca di laminazione in progetto.

3.2 INVASO DI LAMINAZIONE

L'opera di laminazione, come già detto in precedenza, è caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo pari a circa 930'000 m³ alla quota di massima regolazione di 170,0 m s.m., suddiviso in n. 2 settori così individuati:

- I settore: è l'unico ad invasarsi per volumi in ingresso fino a 270'000 m³ e, per volumi maggiori, si invasa contemporaneamente al settore II;
- II settore: comincia ad invasarsi per volumi in ingresso superiori a 270'000 m³ e, considerato insieme alla parte di settore I posta a quota superiore ai 160.00 m s.m., è caratterizzato da un volume pari a circa 660'000 m³.

Nella Tabella 3 sono riportate le principali caratteristiche geometriche di ciascun settore che compone l'opera di laminazione in progetto.

Tabella 3 – Caratteristiche dei settori I e II

Settore	Range volumetrico di invaso [m ³]	Quota di fondo [m s.m.]	Quota di massima regolazione [m s.m.]	Quota massima argini [m s.m.]	Superficie alla quota di massima regolazione [m ²]	Superficie alla quota di fondo vasca [m ²]
I	Da 0 a 930'000	151.0	170.0	175.0	-	20'710
II	Da 270'000 a 930'000	160.0	170.0	175.0	-	10'180
Totale	835'000	-	-	-	83'570	30'890

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:	
		A.T.P.:						
					<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

3.3 OPERA DI PRESA

L'opera di presa è costituita da uno sfioratore laterale del tipo a stramazzo, composto da una soglia fissa in c.a con il ciglio posto alla quota di 170.73 m s.m., avente una lunghezza pari a 18 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una sezione trapezia e da una quota di fondo pari a circa 169.18 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 1.55 m.

Il profilo trasversale della soglia sfiorante è curvilineo, del tipo *Creager-Scimemi*.

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con la condotta circolare di alimentazione dell'invaso di laminazione, posta a quota 168,70 m s.m..

Lungo il Seveso, dopo la soglia sfiorante è prevista la formazione di una sezione di controllo idraulico mediante l'interposizione di una paratoia rettangolare piana in acciaio inox di dimensioni 9.0 x 3.0 m, finalizzata a creare un restringimento di sezione per limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente il sopracitato sfioratore laterale dell'opera di presa.

In presenza della portata di piena di riferimento, la paratoia determina un funzionamento di bocca a battente regolato dalla conservazione dell'energia tra la sezione rigurgitata a monte della paratoia e la sezione contratta a valle della stessa. Il dimensionamento della luce della paratoia con la corrispondente sezione contratta e il dimensionamento dello sfioratore laterale sono stati condotti in modo tale da realizzare quanto prima indicato e cioè che, con riferimento ad una portata di piena centennale di progetto proveniente da monte pari a 75 m³/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 27 m³/s, così da ridurre la portata verso valle a 48 m³/s.

Il Seveso in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione naturale con forma pressoché trapezia. La sezione è assunta con scabrezza media di Strickler pari a 40 m^{1/3}/s, con base pari a circa 9.00 m e pendenza di fondo pari all'5‰.

Imponendo che la paratoia lasci una luce libera di altezza pari a 1,5 m (quindi con sezione contratta di 9,0 x 1,5 x 0,61 = 8,235 m²), il livello idrico di rigurgito a monte della paratoia con la portata in arrivo di 75 m³/s risulta pari, applicando il teorema di Bernoulli, a 171,75 m s.m..

Con tale livello di rigurgito, pari a 2,57 m rispetto al fondo, il dimensionamento dello

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agente Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

sfioratore laterale, condotto nell'ipotesi che il processo di sfioro avvenga ad energia specifica E costante della corrente e considerando un coefficiente di efflusso sulla soglia di sfioro pari a 0,48 (soglia di sfioro Creger-Scimemi), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

$$\Delta q = 0,48 \cdot \Delta x \cdot (h - c) \sqrt{2g(h - c)}$$

$$E = h + \frac{Q^2}{2g \cdot A(h)^2} = cost$$

$$Q_{monte} = Q_{valle} + \sum \Delta q$$

in cui:

Δq è la portata sfiorata in un tratto di lunghezza Δx [m³/s];

h è l'altezza idrica rispetto al fondo del canale di gronda [m];

c è l'altezza della soglia sfiorante rispetto al fondo del canale di gronda [m];

E è l'energia specifica della corrente [m];

Q_{monte} è la portata a monte dello sfioratore [m³/s];

Q_{valle} è la portata a valle dello sfioratore [m³/s];

Si sono così determinate le seguenti grandezze:

- sezione del restringimento del Seveso a valle dello sfioratore (per consentire di incrementare il livello dell'acqua a valle dello sfioratore e di conseguenza anche l'energia della corrente in modo da consentire la riduzione di portata prefissata):

9.0 x 1.5 m;

- altezza della corrente lenta a monte del restringimento e a valle dello sfioratore:

2,57 m;

- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo del canale di gronda:

1,55 m;

- lunghezza della soglia sfiorante:

18,0 m;

- portata del Seveso a monte dello sfioratore:

75,0 m³/s;

- portata del Seveso a valle dello sfioratore:

48,0 m³/s

- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore:

2,05 m.

Nel Seveso, appena a valle della paratoia, si instaura un profilo di corrente veloce ritardata che tende, attraverso un risalto idraulico a raccordarsi al profilo in corrente lenta, caratterizzato da un livello idrico pari a circa 1.6 m.

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div data-bbox="304 152 507 248">  </div> <div data-bbox="507 152 762 248">  </div> <div data-bbox="762 152 890 277">  </div> <div data-bbox="890 152 1023 277">  </div> <div data-bbox="1023 152 1155 277">  </div> <div data-bbox="1155 152 1326 277">  </div> <div data-bbox="1326 152 1503 277">  </div>					
---	---	--	--	--	--	--

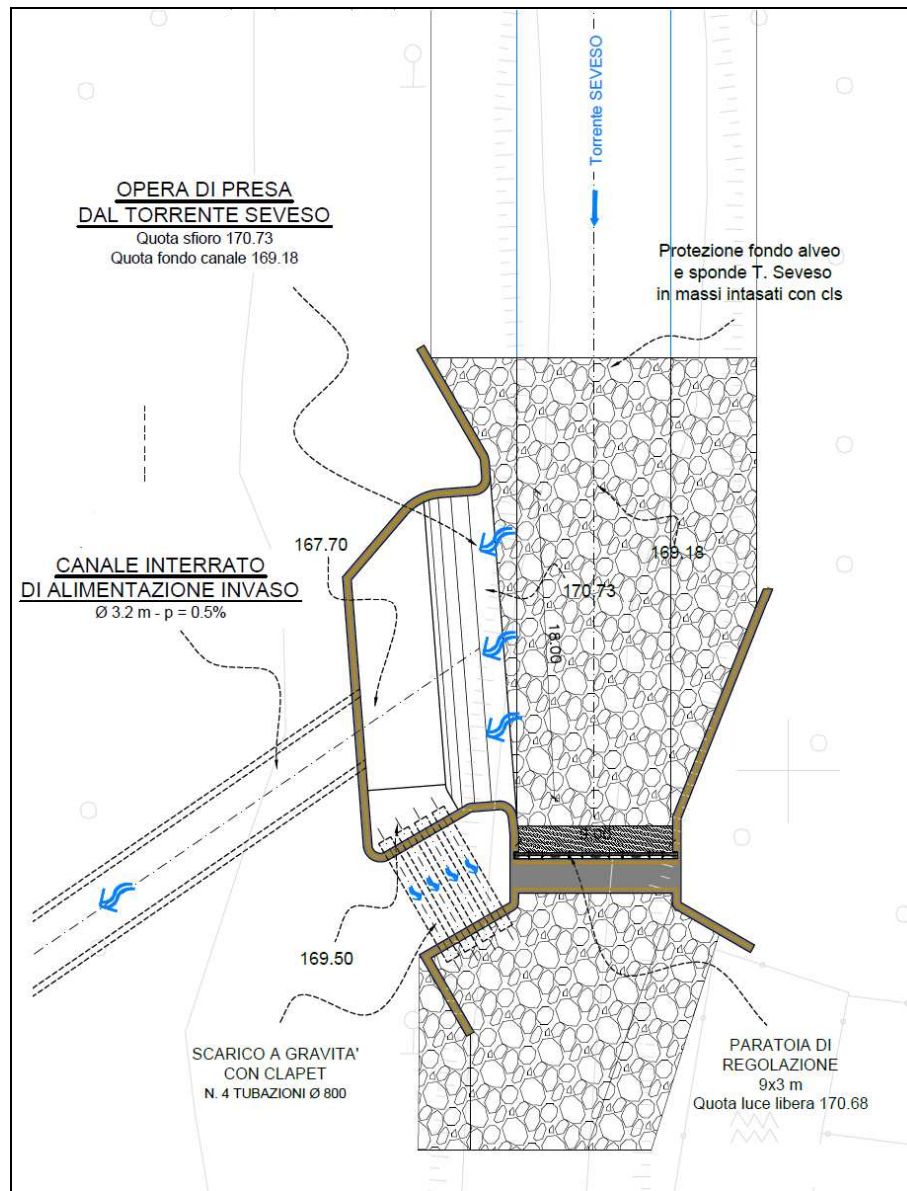


Figura 18 – Manufatto di presa della vasca di laminazione di Paderno Dugnano

Poiché la quota della sommità della soglia risulta più alta rispetto a quella di massimo invaso di progetto nella vasca di laminazione, al fine di permettere la restituzione di parte del volume invasato a gravità si è prevista la realizzazione di un sistema di scarico secondario. Questo è realizzato attraverso n.4 tubazioni DN800 in acciaio che mettono in comunicazione la vasca a valle della soglia sfiorante con l'alveo del torrente Seveso a valle della paratoia di regolazione. Le tubazioni sono caratterizzate da quota di posa pari a 169.50 m s.m., la quale garantisce che esse si attivino solo per rigurgito dal canale di alimentazione a vasca piena e

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agencia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

mantiene un franco minimo rispetto al fondo del Seveso pari a 30 cm.

La bocca di scarico è inoltre presidiata da una valvola di non ritorno a clapèt, la quale impedisce il loro funzionamento in alimentazione della vasca di laminazione. La valvola utilizzata sarà realizzata appositamente per l'utilizzo in manufatti sfioratori e sarà quindi dotata di dispositivi anti intasamento.

La realizzazione di tale scarico secondario garantisce quindi la possibilità di restituire a gravità al torrente Seveso al termine dell'evento di piena il volume d'acqua invasato nei primi 50 cm di vasca, corrispondente a circa 42'000 m³.

3.3.1 Configurazione dell'opera di presa nell'assetto attuale

Attualmente non è ancora ipotizzabile l'ordine con le quali verranno realizzate le diverse opere di laminazione previste nello studio AIPO 2011 a protezione dalle inondazioni del torrente Seveso.

Per tale motivazione si è proceduto ad effettuare una verifica del funzionamento del sistema idraulico della vasca di Paderno Dugnano considerando che questa sia la prima opera realizzata e che il torrente Seveso risulti analogo alla situazione attuale in tutte le altre sezioni a monte di essa.

Si è quindi analizzato il funzionamento dell'opera di presa in corrispondenza di una portata in arrivo da monte pari a 152.90 m³/s, corrispondente a quella dello stato di fatto.

Essendo l'opera dimensionata per il funzionamento ottimale in corrispondenza di una portata massima in arrivo da monte pari a 75,2 m³/s, si è verificato che nelle condizioni di stato di fatto essa deriverebbe verso la vasca di invaso una portata superiore a quella di progetto, portando al riempimento prematuro della vasca e quindi ad una possibile riduzione della protezione idraulica offerta dall'opera.

Per evitare ciò sono state valutate differenti configurazioni dell'opera e si è verificato che, prevedendo un rialzo della soglia di sfioro di 2.10 m (quota assoluta alla sommità pari a 172.83 m s.m.) e la rimozione di qualsiasi restringimento a valle della soglia stessa, la portata derivata in vasca può essere mantenuta pari a quella di progetto (27 m³/s).

Il rialzo della soglia è previsto attraverso l'utilizzo di panconi, facilmente reperibili in moduli di varie dimensioni.

Con il detto rialzamento l'opera di presa garantisce una buona efficacia anche in

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agencia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND <small>LANDSCAPE ARCHITECTS</small>	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

corrispondenza di eventi di entità minore di quello di tempo di ritorno 100 anni di progetto. Infatti, già per eventi con tempo di ritorno inferiore ai 5 anni, l'opera di presa permette di ridurre le portate di picco a valle e di invasare una parte del volume che altrimenti potrebbe contribuire a generare allagamenti.

Tale modifica permette di garantire il corretto funzionamento dell'opera anche nel caso essa fosse la prima realizzata tra tutte quelle in progetto, assicurando comunque, attraverso una semplice rimozione di opere non strutturali (panconi) ed una ricalibratura della luce della paratoia di regolazione, il ripristino della configurazione di progetto finale.

3.4 DETERMINAZIONE DELLA QUOTA DI CORONAMENTO DELLE ARGINATURE PERIMETRALI

Ai fini della determinazione della quota di coronamento arginale, occorre far riferimento alle quote del massimo livello idrico raggiungibili in vasca, con riferimento all'evento centennale, in corrispondenza dei seguenti scenari di funzionamento:

Scenario 1 (eccezionale) - Stato attuale (opere di laminazione previste a monte non realizzate) e piena $T = 100$ anni con colmo successivo al completo riempimento della vasca.

In corrispondenza della sez. 27-0-1 del modello idrodinamico MIKE 11 il Seveso presenta allo stato attuale per l'evento centennale una portata al colmo di $152.9 \text{ m}^3/\text{s}$. In base al profilo di rigurgito provocato dal restringimento di alveo in progetto nella condizione prima citata di paratoia con luce libera alta 1.9 m il corrispondente livello di piena è pari a 173,90 m s.m. rispetto al fondo alveo posto a quota 169,18 m s.m. e a quote delle sponde di 174,0 m s.m..

Ammesso cautelativamente che tale colmo di piena avvenga eccezionalmente dopo un completo riempimento della vasca che porti il livello di invaso alla stessa quota del fiume il livello in vasca è quindi pari a:

- livello di massimo invaso eccezionale = 173,90 m s.m..

Scenario 2- Stato attuale (opere di laminazione previste a monte non realizzate) con effetto di laminazione per l'evento $T = 100$ anni.

In corrispondenza della sez. 27-0-1 del modello idrodinamico MIKE 11 il Seveso presenta allo stato attuale per l'evento centennale una portata al colmo di $152.9 \text{ m}^3/\text{s}$. In base al profilo di rigurgito provocato dal restringimento di alveo in progetto nella condizione prima citata di paratoia con luce libera alta 1.9 m il corrispondente livello di piena è pari a 173,90 m s.m.

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					Consulenti:		
 AIPO <small>Agencia Interregionale per il fiume Po</small>	 ETATEC <small>STUDIO PAOLETTI</small>	 STUDIO PAOLETTI <small>INGEGNERI ASSOCIATI</small>	A.T.P.:		 BETA studio <small>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</small>	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

rispetto al fondo alveo posto a quota 169,18 m s.m. e a quote delle sponde di 174,0 m s.m..

Imponendo la derivazione verso la vasca determinata dallo sfioratore laterale sopracitato, la portata massima sfiorata in corrispondenza del colmo di piena in arrivo è pari $27 \text{ m}^3/\text{s}$. Il conseguente riempimento della vasca provocato dall'onda sfiorata determina un massimo riempimento pari a:

- *livello di massimo invaso di progetto* = 170.00 m s.m..

Scenario 3 - Stato di progetto (opere di laminazione previste a monte completamente realizzate) con effetto di laminazione per l'evento $T = 100$ anni.

In corrispondenza della sez. 27-0-1 del modello idrodinamico MIKE 11 il Seveso presenta, nella situazione di progetto con opere di laminazione a monte realizzate, una portata al colmo di $75 \text{ m}^3/\text{s}$ per l'evento centennale. In base al profilo di rigurgito provocato dal restringimento di alveo in progetto nella condizione prima citata di paratoia con luce libera alta 1.5 m il corrispondente livello di piena è pari a 171,75 m s.m. rispetto al fondo alveo posto a quota 169.18,0 m s.m. e a quote delle sponde di 174,0 m s.m..

Imponendo la derivazione verso la vasca determinata dallo sfioratore laterale sopracitato, la portata massima sfiorata in corrispondenza del colmo di piena in arrivo è pari a $27 \text{ m}^3/\text{s}$. Il conseguente riempimento della vasca provocato dall'onda sfiorata determina un massimo riempimento pari a:

- *livello di massima regolazione di progetto* = 170,0 m s.m..

Poiché nella configurazione scelta l'opera di presa svolge anche la funzione di scarico di emergenza della vasca, il dimensionamento della quota delle arginature della vasca è stato condotto considerando le quote suddette. Il coronamento delle arginature di confinamento della vasca è quindi stato posto ad una quota pari a 175.00 m s.m., garantendo quindi un franco di sicurezza pari a:

- nello scenario eccezionale 1 relativo allo stato attuale con colmo sopraggiungente dopo il completo riempimento della vasca (livello di massimo invaso di 173,9 m s.m.) = $175,0 - 173,9 = 1,1 \text{ m}$
- nello scenario 2 relativo allo stato attuale (livello di massimo invaso di 171.0 m s.m.) = $175,0 - 171,0 = 4.00 \text{ m}$
- nello scenario 3 nella configurazione di progetto (livello di massimo invaso di

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE							
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	Studio Associato Geologia Spada	Dott. Ing. A. Barbon	 LAND	Prof. Dott. V. Mezzanotte

$$171.0 \text{ m s.m.}) = 175,0 - 171,0 = 4,00 \text{ m.}$$

3.5 CONDOTTO DI ALIMENTAZIONE DELL'INVASO

Le portate derivate dal Seveso vengono recapitate nel settore II dell'invaso di laminazione di Paderno Dugnano attraverso un condotto interrato che svolge anche la funzione di attraversamento della adiacente linea ferroviaria FNM Milano-Meda.

Il condotto DN320 in c.a. ha una lunghezza di circa 135 m e pendenza pari al 5‰. La quota di fondo in corrispondenza della sezione iniziale (a valle dell'opera di presa del Seveso) è pari a 168.70 m s.m., mentre la quota di fondo nella sezione terminale (ingresso nel settore II dell'invaso) è pari a 168.0 m s.m.. Le curve verranno realizzate attraverso manufatti in c.a. gettati in opera.

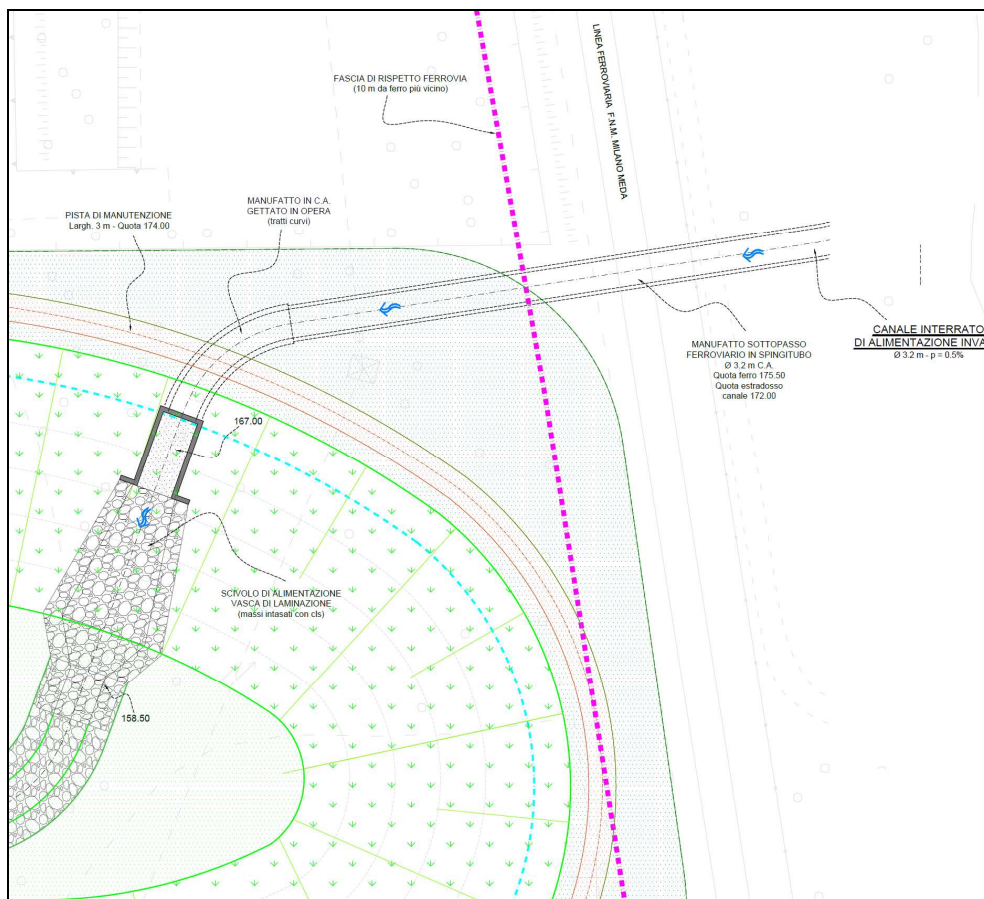


Figura 19 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Paderno Dugnano con indicazione delle opere idrauliche di alimentazione dell'invaso

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE						Consulenti:	
 AIPO Agenzia Interregionale per il fiume Po	 ETATEC STUDIO PAOLETTI	 STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI	A.T.P.:		 BETA studio WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS	<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>	 LAND	<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Il tratto posto al di sotto della linea ferroviaria (lunghezza pari a circa 15 m) verrà realizzato attraverso la tecnica dello spingitubo al fine di non interferire in alcun modo con la normale circolazione del traffico ferroviario. Si è prestata particolare attenzione alla costruzione del profilo del canale al fine di rispettare i vincoli imposti dalle *Norme tecniche per gli attraversamenti e per i parallelismi di condotte e canali convoglianti liquidi e gas con ferrovie ed altre linee di trasporto* (Decreto Ministeriale n.2445 del 23/02/1971). In particolare si è garantito il minimo valore di 2 m quale distanza tra il piano del ferro e la generatrice superiore del canale chiuso.

La quota del canale può all'occorrenza essere ulteriormente abbassata, tenuto conto che la quota di fondo della sezione terminale è pari a 168.0 m s.m., 8.0 m al di sopra del fondo del settore II dell'invaso.

Il livello idrico che si instaura nella sezione terminale della condotta (in corrispondenza del passaggio della massima portata di progetto di $27 \text{ m}^3/\text{s}$) finché il livello idrico in vasca risulta inferiore a 168.0 m s.m. è pari a circa 1.61 m (altezza critica). Procedendo verso monte il livello tende all'altezza di moto uniforme, pari a 1.96 m (con scabrezza pari a $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$). In corrispondenza della sezione di imbocco il profilo tende infine a raccordarsi in corrente veloce con quello presente al di sopra della soglia, pari a 3.05 m sul fondo del canale. In tali condizioni si verifica che in ogni sezione del canale si instaura un livello di riempimento massimo pari al 60%.

Quando il livello idrico in vasca supera la quota di 168.0 m s.m., nel canale si instaura un profilo di rigurgito che interessa una porzione sempre più estesa del canale all'aumentare del livello in vasca. La situazione limite si raggiunge quando il livello idrico in vasca raggiunge i 170.0 m s.m., al quale corrisponde il completo rigurgito del canale fino alla sezione in prossimità della soglia di sfioro. In tale condizione, al ridursi del livello idrico nel torrente Seveso, il canale agisce in senso contrario rispetto all'ordinario funzionamento e, attraverso le condotte di scarico presidiate da clapet, può essere restituito al torrente Seveso il volume invasato nei primi 50 cm di vaso, corrispondente a circa $42'000 \text{ m}^3$.

3.6 CANALE DI RECAPITO ALLA SEZIONE I DELL'INVASO

Il canale di alimentazione, per questioni di ingombri plano-altimetrici e di massimizzazione del volume di vaso, recapita le portate sfiorate dal torrente Seveso nel settore II della vasca

PROGETTISTI 	SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE A.T.P.: <div>        </div>					
--	--	--	--	--	--	--

di laminazione di Paderno Dugnano, la quale risulta anche quella più superficiale. Al fine di convogliare correttamente i primi volumi in ingresso alla vasca verso il settore I più profondo, è prevista la realizzazione di un canale di recapito che collega lo sbocco in vasca del canale di alimentazione al suddetto settore.

Tale canale, previsto a sezione trapezia con base minore larga 4 m, pareti con inclinazione di 1:1 e inclinazione del fondo pari al 5‰, è stato dimensionato nei confronti della massima portata di progetto pari a $27 \text{ m}^3/\text{s}$, ed è quindi caratterizzato da una altezza minima pari a 2.00 m. La realizzazione del canale è prevista in massi ciclopici intasati con terreno (con scabrezza pari a $35 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$) mentre per gli scivoli di raccordo con il canale di alimentazione dal torrente Seveso e con il settore I è prevista in massi ciclopici ammorsati nel calcestruzzo.

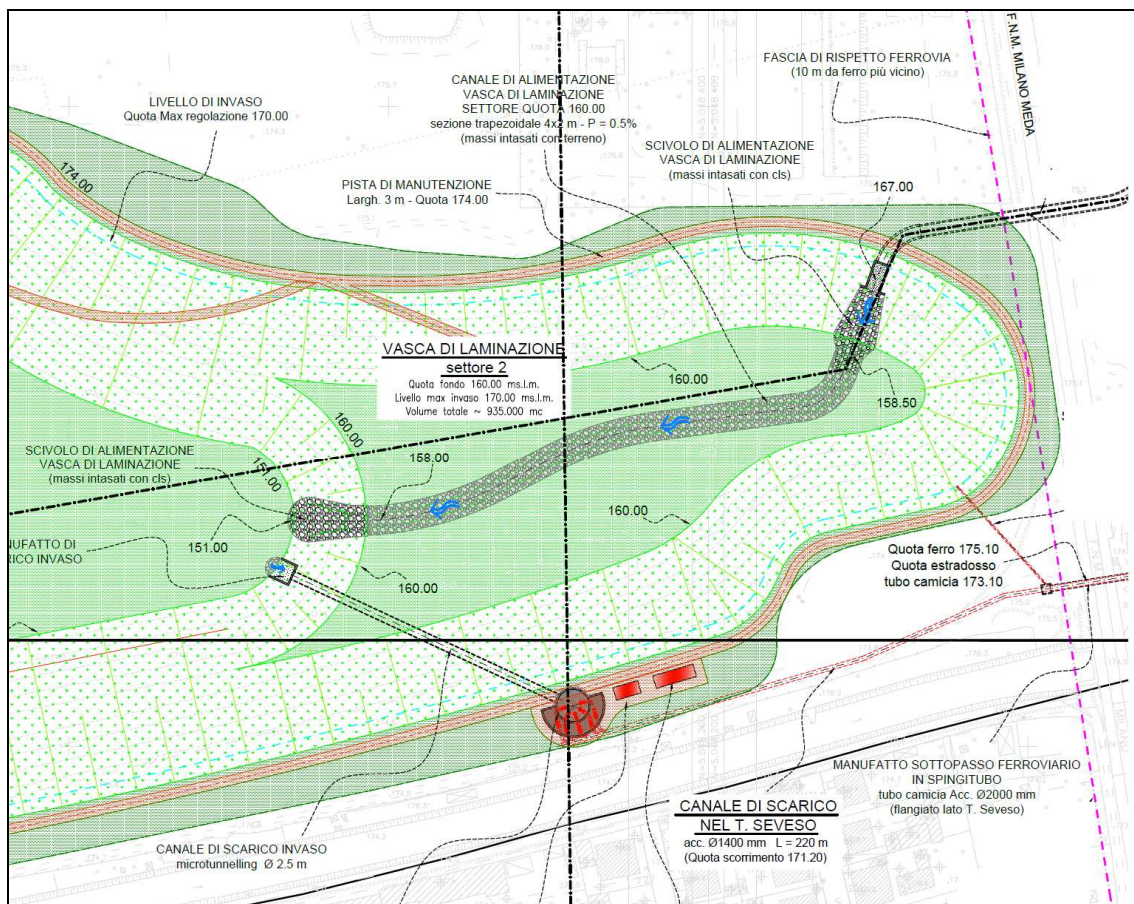


Figura 20 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Paderno Dugnano con indicazione delle opere idrauliche di raccordo tra settore I e II

<p>PROGETTISTI</p>  <p>ETATEC STUDIO PAOLETTI</p>	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p>  <p>Studio Associato Geologia Spada</p> <p>Dott. Ing. A. Barbon</p>	<p>Consulenti:</p>  <p>Prof. Dott. V. Mezzanotte</p>
--	--	---

3.7 STAZIONE DI SOLLEVAMENTO PER LO SCARICO DEI VOLUMI INVASATI

A causa della configurazione del piano campagna e delle quote relative all'alveo del torrente Seveso, la vasca di laminazione di Paderno Dugnano è realizzata completamente in scavo con fondo a quote fino a 20.0 m inferiori rispetto a quelle dell'alveo del Seveso. Per tale motivazione, i volumi in essa invasati devono essere scaricati al termine dell'evento di piena principalmente per sollevamento meccanico (solo i primi 50 cm del massimo invasato possono essere scaricati a gravità per rigurgito dallo scarico secondario realizzato in prossimità dell'opera di presa con 4 condotti presidiati da valvole di non ritorno a clapet).

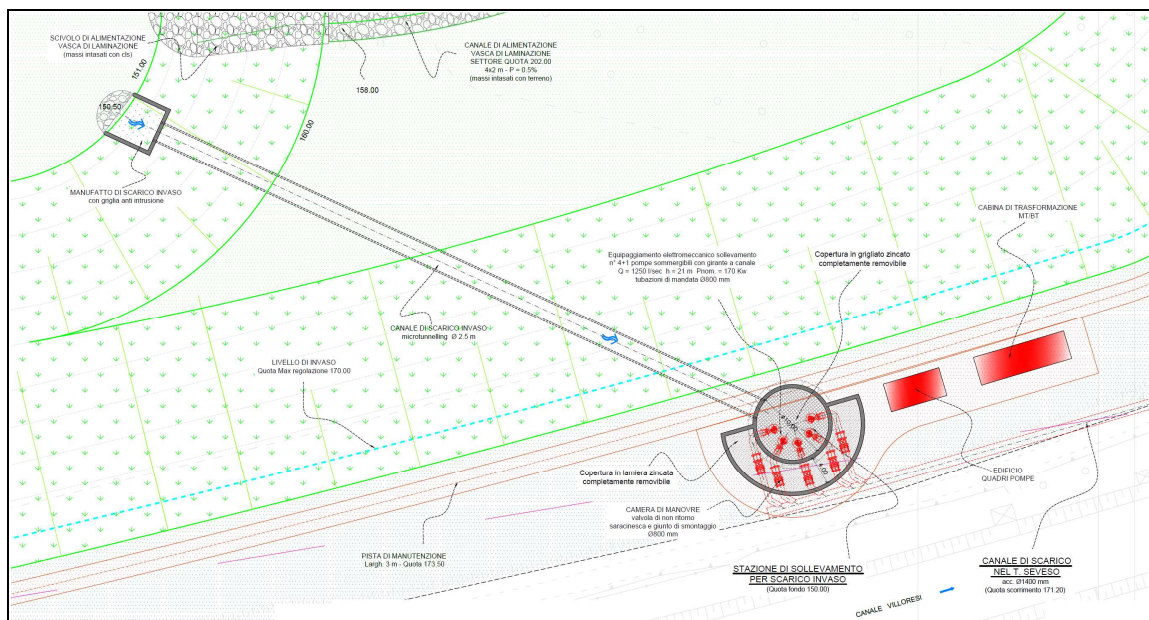


Figura 21 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Paderno Dugnano con indicazione del sollevamento meccanico

<p>PROGETTISTI</p>  <p>Agente Interregionale per il fiume Po</p>	<p>SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE</p> <p>A.T.P.:</p> <div data-bbox="304 152 512 248">  <p>STUDIO PAOLETTI</p> </div> <div data-bbox="512 152 759 248">  <p>INGEGNERI ASSOCIATI</p> </div> <div data-bbox="759 152 890 280">  <p>WATER AND NATURAL RESOURCES CONSULTANTS</p> </div> <div data-bbox="890 152 1023 280"> <p>Studio Associato Geologia Spada</p> </div> <div data-bbox="1023 152 1155 280"> <p>Dott. Ing. A. Barbon</p> </div> <div data-bbox="1155 152 1326 280">  </div> <div data-bbox="1326 152 1505 280"> <p>Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte</p> </div>
---	--

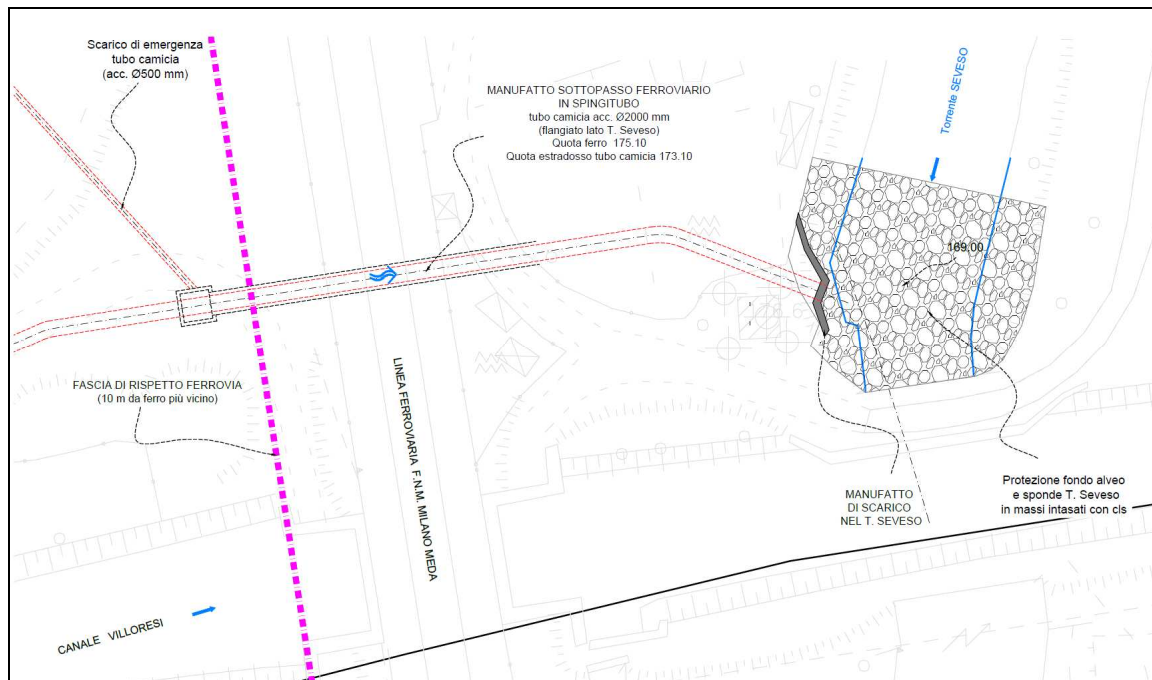


Figura 22 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Paderno Dugnano con indicazione del manufatto di attraversamento della linea ferroviaria e del manufatto di scarico

La stazione di sollevamento verrà realizzata lungo il lato meridionale della vasca di laminazione, individuando una localizzazione che permetta di contenere le lunghezze del canale di scarico dell'invaso verso il sollevamento e contemporaneamente della condotta di mandata dal sollevamento allo scarico nel torrente Seveso. Il fondo del sollevamento è stato posto alla quota di 150.0 m s.m. in modo da risultare di 1.0 m inferiore alla quota di massimo scavo della vasca e poter così allontanare la totalità dei volumi invasati ma limitando comunque il massimo battente sull'aspirazione delle pompe sommerse a 20.0 m, valore oltre il quale si potrebbero presentare problematiche nel loro funzionamento.

Le opere elettromeccaniche sono state dimensionate in modo da permettere il completo svuotamento dell'invaso in un tempo di circa 48 ore. Si è scelto quindi di installare n.5 pompe (delle quali una con funzione di riserva) caratterizzate da una portata massima allontanabile di 1250 l/s ciascuna con una prevalenza nominale di 9 m.

Le condotte di mandata sono dei DN800 in acciaio e, giunte alla quota 171.20 m s.m., appena all'esterno della stazione di sollevamento, convergono in una condotta DN1400 sempre in acciaio. Questa, dopo aver effettuato l'attraversamento perpendicolare della linea ferroviaria FNM Milano-Meda, recapita le portate sollevate nel torrente Seveso attraverso un manufatto

PROGETTISTI		SUPPORTO ALLA PROGETTAZIONE					
		A.T.P.:				Consulenti:	
				<i>Studio Associato Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. A. Barbon</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

di scarico che le convoglia nel senso di scorrimento ordinario del torrente e protegge il fondo e le sponde dell'alveo dall'erosione localizzata.

L'attraversamento della linea ferroviaria verrà realizzato attraverso uno spingitubo al fine di non interferire in alcun modo con il normale traffico ferroviario. Inoltre lo spingi tubo verrà effettuato su di una tubazione DN2000 in acciaio a perdere che svolgerà la funzione di tubo-camicia per la reale tubazione di mandata. Il tubo-camicia verrà spinto mantenendo una lieve pendenza con punto di minimo all'estremo occidentale (lato vasca) e l'estremo opposto verrà flangiato e sigillato. In tal modo eventuali perdite dalla condotta di mandata in corrispondenza dell'attraversamento verranno convogliate in un pozzetto di raccolta realizzato a monte dell'attraversamento e da qui ricondotte in vasca attraverso una tubazione di scarico DN500 in acciaio.

L'intero attraversamento rispetta le prescrizioni della normativa di riferimento per gli attraversamenti di linee ferroviarie con tubazioni trasportanti liquidi o gas, garantendo lungo tutto il suo sviluppo una distanza verticale minima tra estradosso superiore del tubo-camicia e piano del ferro di 2.0 m.

Nelle immediate vicinanze della stazione di sollevamento e completamente fuori terra verranno realizzati un edificio contenente i quadri elettrici di controllo delle pompe e una cabina di trasformazione MT/BT.

Milano, novembre 2014

I PROGETTISTI

Ing. Gaetano La Montagna

Ing. Sara Melone