

# AREA DI LAMINAZIONE DEL TORRENTE SEVESO

Comune di Lentate sul Seveso (MB)

PROGETTO DEFINITIVO - MB-E-2

GENNAIO 2016



## RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

ING. LUIGI MILLE

## 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. Geol. MARIO SPADA

Dott. Geol. GIAN MARCO ORLANDI

Dott. Geol. SUSANNA BIANCHI

**ETATEC**

STUDIO PAOLETTI

S.R.L.

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

*Studio Associato di Geologia Spada*

Via Donizetti 17 24020 Ranica (BG)  
tel: +39 035 516090 - +39 035 513738



Sistema Certificato  
UNI EN ISO 9001  
SC 06-047/EA 34



## CONSULENZE SPECIALISTICHE:

### ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

Arch. ANDREAS KIPAR

Dott. Agr. GIOVANNI SALA

Arch. LUISA BELLINI

### ASPETTI STRUTTURALI:

Ing. BRUNO BECCI

Ing. MARCO BELLINI

### IMPIANTI ELETTRICI:

Ing. FEDERICO REPOSSI

Ing. MARCO GILARDONI

**LAND Italia srl**

Via Varese 16 20121 Milano  
tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30  
www.landsrl.com

**CeAS s.r.l.**

Viale Giustiniano, 10 - 20129 Milano  
tel: +39 02 2020221 - fax: +39 02 29512533  
E-mail: CEAS@FINZI-CEAS.IT - www.ceas.it

**MCE s.r.l.**

Via Bassini, 53 - 20133 Milano  
tel: +39 02 70608880 - E-mail: info@mce-milano.com  
www.mce-milano.com



**LAND**  
LANDSCAPE ARCHITECTURE NATURE DEVELOPMENT

**CeAS**  
centro di analisi strutturale  
**MCE**

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

SCALA

Revisioni

1

RECEPIMENTO PRESCRIZIONI V.I.A. E C.D.S.

LUGLIO 2017

2

Numero  
elaborato

TIPOLOGIA

PD

COMMESSA

250-27

DOCUMENTO

ATTI

NUMERO

A.3.1

## INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO .	5
2.1 ASSETTO ATTUALE .....	5
2.2 MODELLAZIONE IDRODINAMICA DEL F. SEVESO .....	10
2.2.1 Parametri del modello .....	12
2.2.2 Tempo di ritorno di riferimento del progetto .....	12
2.2.3 Ietogramma di progetto.....	14
2.2.4 Risultati del modello .....	15
2.3 EFFETTI DELLE POLITICHE DI “INVARIANZA IDRAULICA” E DI DRENAGGIO URBANO SOSTENIBILE (LAMINAZIONI E INFILTRAZIONI “URBANE” DIFFUSE E CONCENTRATE).19	
2.4 ASSETTO DI PROGETTO DEL F. SEVESO.....	20
3. ANALISI IDRAULICHE IN CORRISPONDENZA DEGLI INVASI DI LAMINAZIONE DI LENTATE SUL SEVESO .....	29
3.1 AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE .....	29
3.2 AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO .....	33
4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO AFFERENTE ALL’AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO.....	42
4.1 GENERALITÀ .....	42
4.2 INVASO DI LAMINAZIONE .....	43
4.3 OPERA DI PRESA .....	44
4.3.1 Configurazione dell’opera di presa nell’assetto di progetto .....	44
4.3.2 Configurazione dell’opera di presa nell’assetto attuale .....	46
4.4 SFIORATORE DI EMERGENZA .....	48
4.4.1 Configurazione dell’opera nell’assetto di progetto.....	48
4.4.2 Configurazione dell’opera nell’assetto attuale .....	50
4.5 DETERMINAZIONE DELLA QUOTA DI CORONAMENTO DELLE ARGINATURE PERIMETRALI 52	
4.6 CANALE DI ALIMENTAZIONE DELL’INVASO .....	53
4.7 SISTEMA DI SCARICO DEI VOLUMI INVASATI.....	55
5. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO AFFERENTE ALL’AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE .....	65
5.1 GENERALITÀ .....	65

5.2	INVASO DI LAMINAZIONE .....	65
5.3	OPERA DI PRESA .....	66
5.4	SCARICO DI FONDO DELL'INVASO.....	67
6.	FREQUENZA DI UTILIZZO DELLA VASCA DI LAMINAZIONE IN SCAVO DI LENTATE .....	70
6.1	ANALISI EVENTI REALI .....	70
6.2	ANALISI EVENTI SINTETICI (EVENTI DI TEMPO DI RITORNO 2, 5, 10, 100 ANNI) .....	79
6.2.1	Analisi evento per T=2 anni.....	79
6.2.2	Analisi evento per T=5 anni.....	80
6.2.3	Analisi evento per T=10 anni.....	81
6.2.1	Analisi evento per T=100 anni.....	81

## 1. PREMESSA

La presente progettazione definitiva ha per oggetto principale i lavori di realizzazione dell'area di laminazione del torrente Seveso in Comune di Lentate sul Seveso (MB). Si tratta di un'area di laminazione in scavo (volume di invaso di circa 808'000 m<sup>3</sup>), posta esternamente all'alveo di piena del T. Seveso, con funzionamento in derivazione.

Nel progetto è prevista anche un'area di laminazione golenale (volume di invaso di circa 20'000 m<sup>3</sup>), sempre con funzionamento in derivazione, all'interno di un'area che già allo stato attuale è interessata da fenomeni di allagamento.

La presente relazione espone le principali caratteristiche idrologico-idrauliche del sistema fluviale afferente alla vasca di laminazione del T. Seveso in Comune di Lentate sul Seveso e le valutazioni condotte nel presente progetto 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 dei seguenti documenti:

- *“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;
- *“Progetto preliminare di “Adeguamento delle Aree golenali del Torrente Seveso” nei comuni di Carimate, Vertemate con Minoprio e Cantù (CO) – Aprile 2015*, redatto dall'Associazione Temporanea di Imprese e Professionisti ETATEC STUDIO PAOLETTI S.r.l., STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI, BETA STUDIO S.r.l., STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA, Dott. Ing. Alessandro Barbon nell'ambito del presente incarico.

Nel capitolo 2 vengono presentate le caratteristiche idrologico-idrauliche del torrente Seveso e il connesso inquadramento dell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso di cui al presente progetto.

Nel capitolo 3 vengono presentate le analisi idrauliche finalizzate al dimensionamento delle opere di laminazione di Lentate sul Seveso.



A.T.P.:			Consulenti:		
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>			

Nel capitolo 4 sono riportati i calcoli di dimensionamento idraulico delle diverse opere che costituiscono l'invaso di laminazione.

Infine, nel capitolo 5 vengono presentate le analisi della frequenza di utilizzo dell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso, facendo riferimento sia ad eventi reali che ad eventi sintetici di riferimento (per tempo di ritorno variabile tra 2 e 100 anni).

## 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, riprese ed aggiornate per l'assetto di progetto nell'ambito del progetto preliminare di *“Adeguamento delle Aree golenali del Torrente Seveso” nei comuni di Carimate, Vertemate con Minoprio e Cantù (CO) (2015).*

### 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 km<sup>2</sup>, 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 m<sup>3</sup>/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;
- 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).



**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 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.

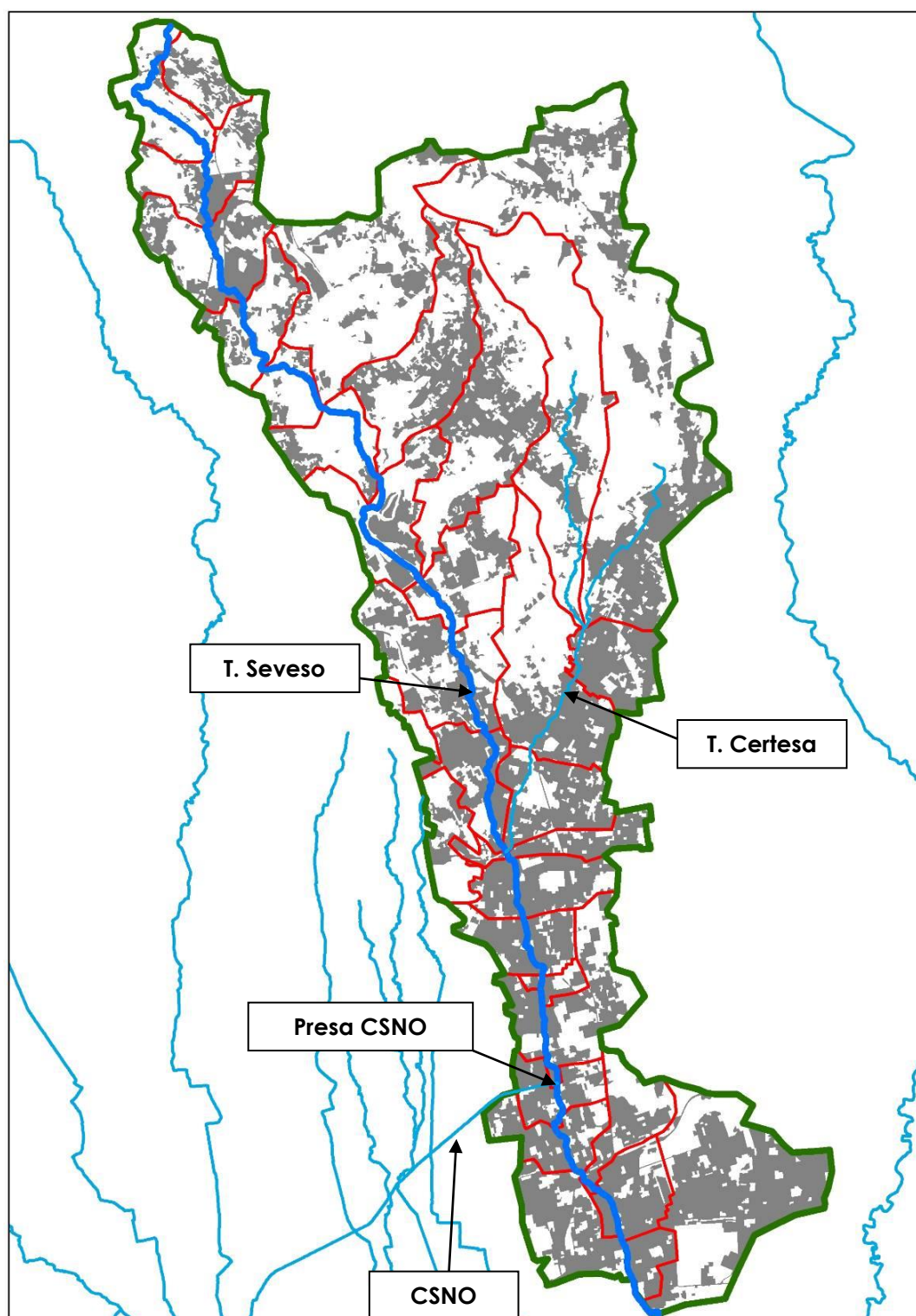
La superficie complessiva del bacino del Seveso, chiuso all'ingresso nel tratto tombato di Milano in via Ornato è pari a circa 226 km<sup>2</sup>, 100 dei quali di aree urbane (44%). Il sottobacino idrografico del torrente Certesa, affluente principale del Seveso, è pari a circa 72 km<sup>2</sup>.

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 km<sup>2</sup>, 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 km<sup>2</sup>, 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.





**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)**

## 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**

<b>Nome sottobacino</b>	<b>Superficie totale [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Superficie extraurb. [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Superficie urbanizzata [km<sup>2</sup>]</b>	<b>Note</b>
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
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>
<b>Totale</b>	<b>190.55</b>	<b>114.62</b>	<b>75.93</b>	

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 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 m<sup>3</sup>/s nella situazione attuale e di 60 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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*.

### 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 ( $Q_{max} = \text{circa } 150 \text{ mc/s}$ ) che come volume complessivo (il volume dell'onda al di sopra della portata di  $30 \text{ mc/s}$  derivabile dal CSNO è stato pari a circa  $4,0 \text{ Mmc}$ ). 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 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 Ietogramma di progetto

Una volta stabilito il tempo di ritorno 100 anni, per la definizione della sollecitazione pluviometrica da inserire in input nella modellazione sono state individuate le curve di possibilità pluviometrica valide per i bacini di interesse, nonché la tipologia dello ietogramma sintetico di pioggia.

Per la selezione delle curve di possibilità pluviometriche sono state adottate quelle definite da ARPA Lombardia per il territorio di interesse e precisamente si sono adottati i parametri desunti dal sito internet [http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg\\_serv\\_idro.phtml](http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml), dove sono presenti delle mappe in formato raster di tutta la regione, considerando quelli afferenti al bacino del Seveso.

La scelta dello ietogramma di progetto è stata effettuata in aderenza a quanto adottato dall'Autorità di bacino del fiume Po nell'ambito del citato studio di fattibilità del 2004.

È stato pertanto scelto lo ietogramma tipo Chicago di durata 24 ore in relazione alle seguenti importanti caratteristiche:

- lo ietogramma Chicago è caratterizzato da un picco di pioggia indipendente dalla durata totale dell'evento; ne consegue che con esso non è necessario procedere a stime di tutti i molteplici eventi critici necessari per calcolare ogni singola onda di piena generata da ogni singolo sottobacino e per ogni bacino progressivamente sotteso dalle varie sezioni

lungo l'asta del Seveso. La scelta dell'evento tipo Chicago, che come è ben noto è caratterizzato dall'essere critico anche per durate parziali, consente di operare con un unico evento di riferimento progettuale per tutti i sottobacini e per tutte le sezioni di riferimento dell'asta del Seveso;

- lo ietogramma Chicago, oltre a includere l'informazione del picco di pioggia, è anche costruito con una procedura che implica il rispetto della curva di possibilità pluviometrica contemporaneamente per tutte le durate parziali; dal punto di vista statistico esso quindi corrisponde ad un evento di tipo cautelativo a parità di tempo di ritorno;
- nel caso come quello in oggetto in cui il progetto riguarda aree di laminazione in derivazione che entrano in funzione solo quando il Seveso supera una prefissata portata di soglia, lo ietogramma tipo Chicago è anche evento critico per la laminazione purché la sua durata superi: 1) il tempo di corrivazione del bacino sotteso; 2) il tempo di base dell'idrogramma di piena di sfioro. L'adozione della durata di 24 ore risponde ad entrambe queste condizioni.

In sintesi, per tutte le susesposte ragioni, lo ietogramma adottato è cautelativo per il dimensionamento delle vasche di laminazione, ovviamente nel contesto del tempo di ritorno adottato pari a 100 anni.

#### **2.2.4 Risultati del modello**

I 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 m<sup>3</sup>/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 tominati, 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). 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

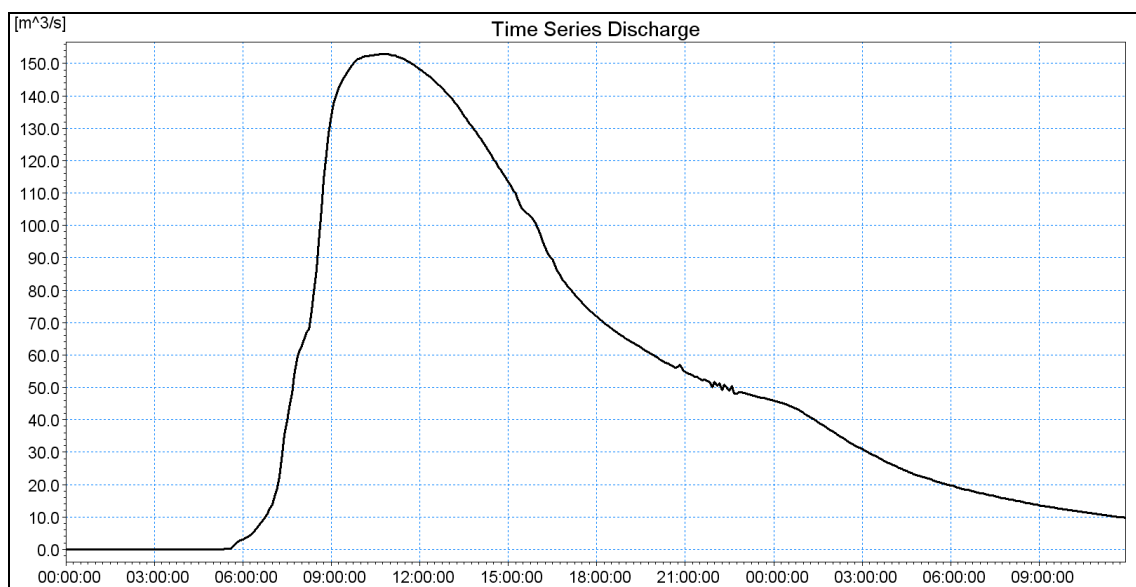
puramente idrologici, ma occorre condurre una modellazione idrologico – idraulica che coniughi i modelli idrologici adottati per calcolare le onde di piena confluenti dai sottobacini contribuenti con il modello idraulico dell’asta principale.

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

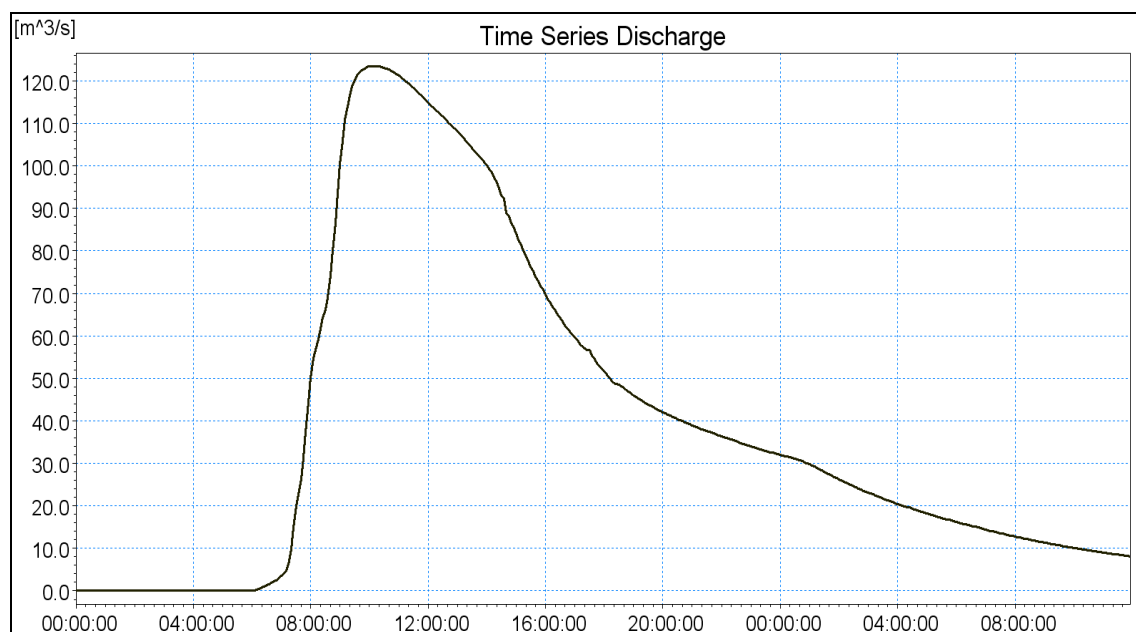
La suddetta analisi idrologico-idraulica condotta nell’ambito dello Studio-AIPo-2011 ha portato a definire in corrispondenza dell’opera di presa del CSNO a Palazzolo gli idrogrammi di piena relativi all’assetto attuale, per tempi di ritorno 100, 10, 5 e 2 anni, di seguito rappresentati.

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 m<sup>3</sup>/s e da un volume dell’onda pari a circa 6,7 Mm<sup>3</sup>.



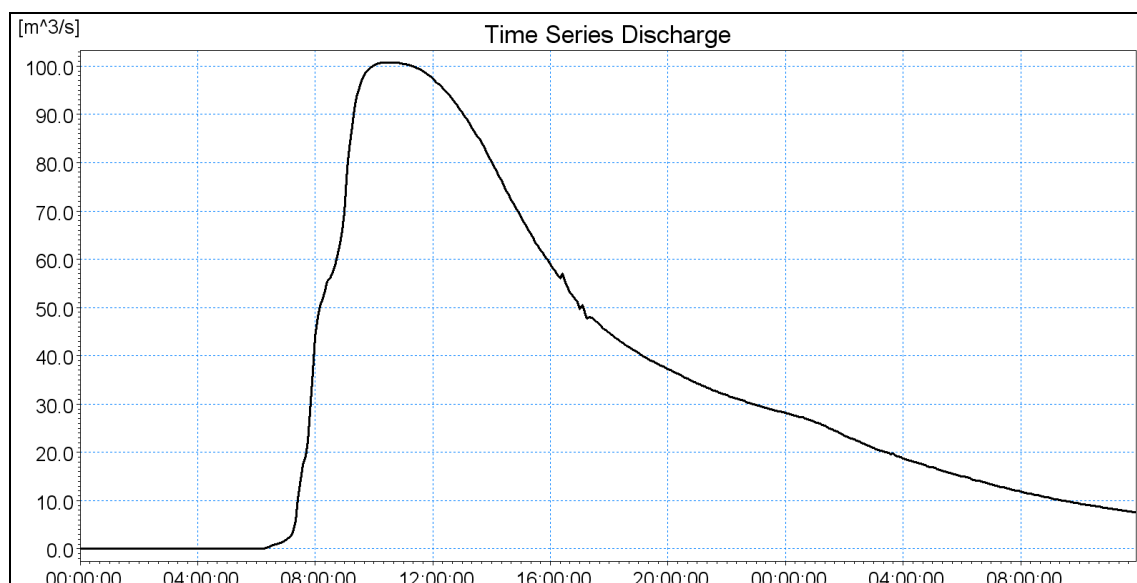
**Figura 3 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO**

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



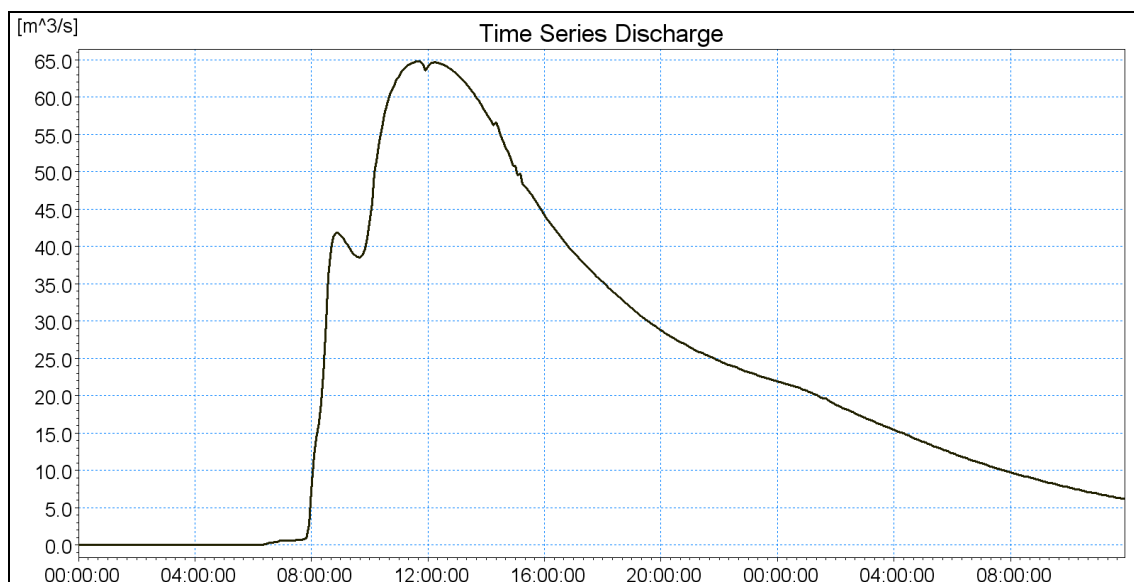
**Figura 4 – Idrogramma T=10 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO**

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**



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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>3</sup>/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. Infatti, come già esposto, 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 e applicate da tutte le amministrazioni locali, di “*Invarianza idraulica*” e di drenaggio urbano sostenibile con laminazioni e infiltrazioni urbane, diffuse o concentrate, a monte degli scarichi di piena

nei corsi d'acqua ricettori.

Pertanto i suddetti studi di AIPO dimostrano anche, con molteplici simulazioni modellistiche alle quali si rimanda<sup>1</sup>, 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'Autorità di bacino del fiume Po. Ulteriori futuri interventi atti ad un più elevato livello di protezione

---

<sup>1</sup> Si veda anche la pubblicazione: Croci S., Paoletti A., Tabellini P., "URBFEP model for basin scale simulation of urban floods constrained by sewerage's size limitations", 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013, Perugia, 2 – 4 september 2013, Elsevier Procedia Engineering 70 (2014) 389-398.

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.

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  $30\div 40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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

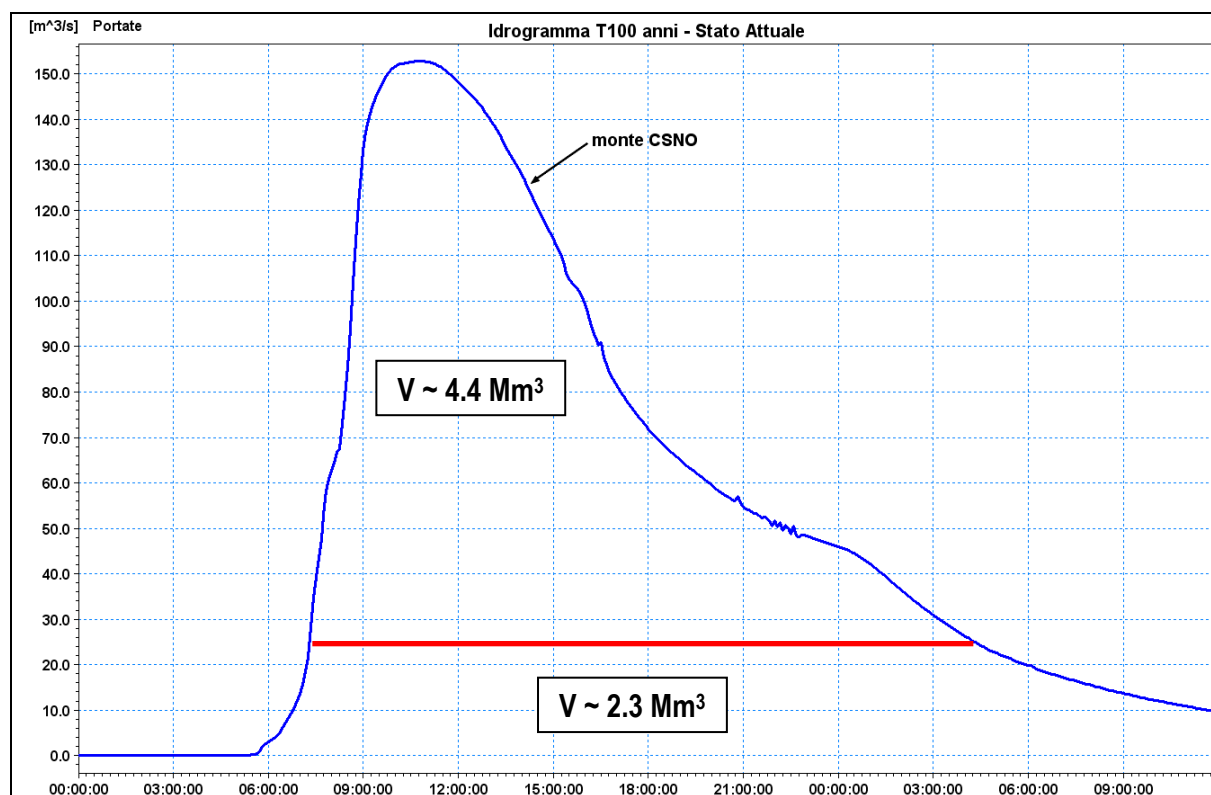
Inoltre, considerato che il progetto definitivo relativo ai “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781*” di AIPO e della Provincia di Milano (attualmente in fase di avvio dei lavori), ha come obbiettivo quello di garantire nel CSNO nella sezione immediatamente a monte dell’immissione dello sfioro del T. Garbogera, una portata massima di 25 m<sup>3</sup>/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 Mm<sup>3</sup> e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di 25 m<sup>3</sup>/s (0 a valle della presa del CSNO e 25 m<sup>3</sup>/s nel CSNO a monte dell’immissione dello sfioro del T. Garbogera), il volume di laminazione complessivamente necessario è pari a circa 4,4 Mm<sup>3</sup>, 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

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.

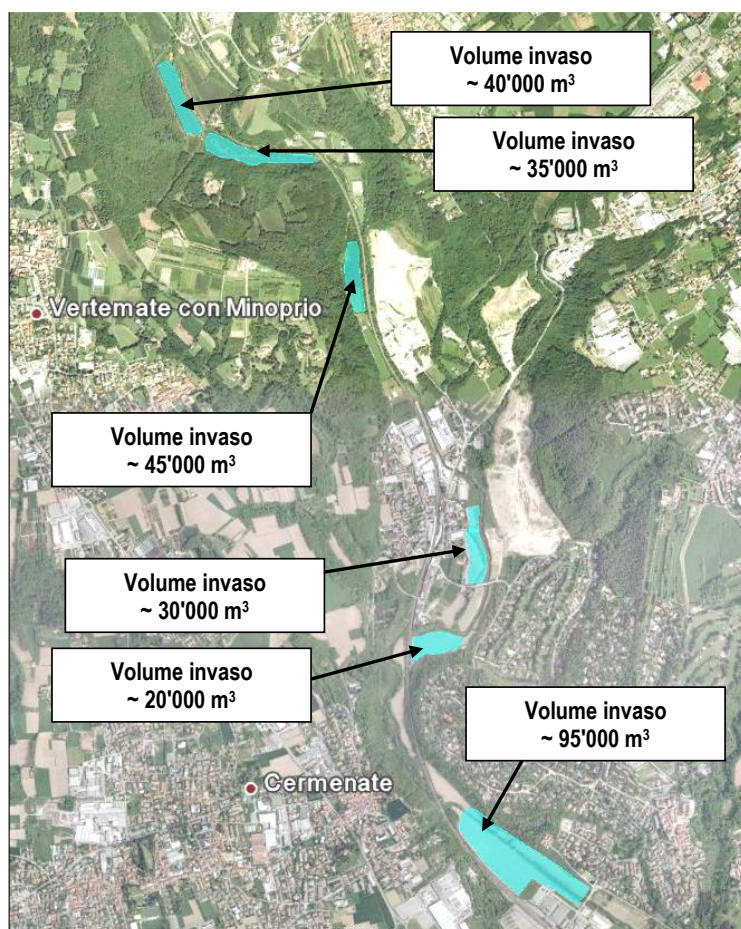
In particolare, a seguito di una vasta analisi dello stato del corso d'acqua e del territorio ad esso limitrofo, lo *Studio-AIPo-2011* giunse a porre alla base dell'assetto di progetto del T. Seveso le seguenti possibili aree di laminazione indicate nelle planimetrie della Figura 8 e



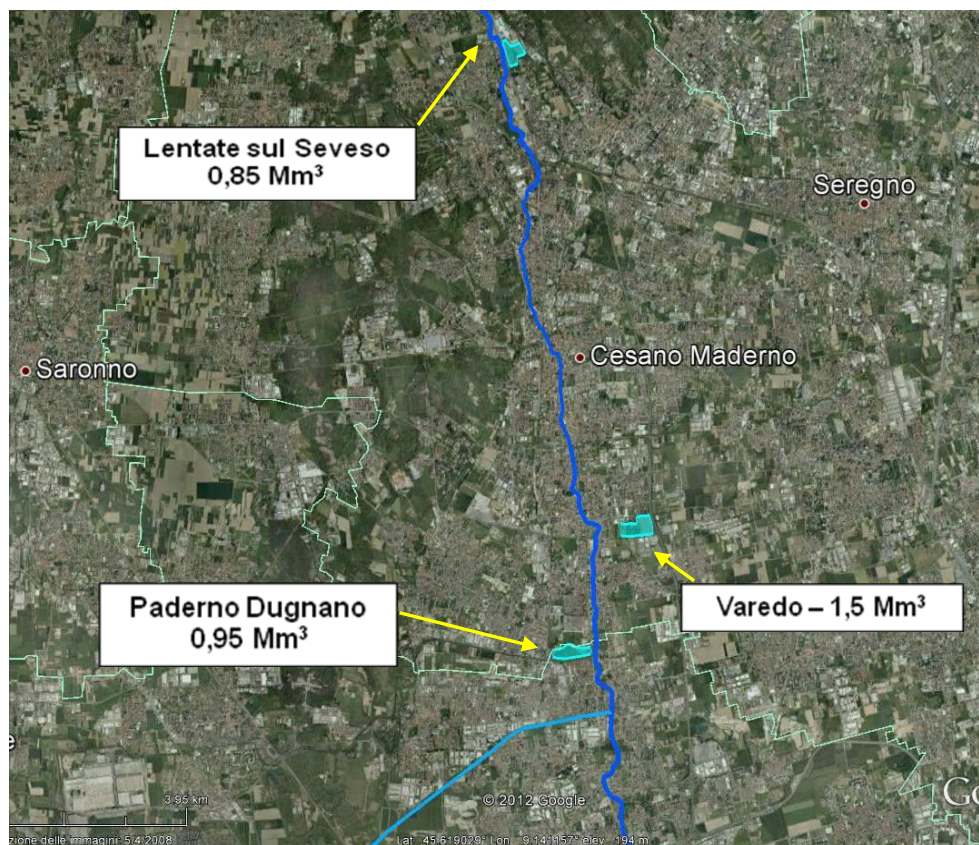
della Figura 9:

- a) aree esondabili di laminazione “golenale” a Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate (volume di laminazione complessivo pari a circa 220'000 m<sup>3</sup>);
- b) opere di laminazione in scavo lungo il T. Seveso a Lentate sul Seveso (850'000 m<sup>3</sup> di invaso), Varedo (1'500'000 m<sup>3</sup>), Paderno Dugnano (950'000 m<sup>3</sup>);
- c) opere di laminazione in scavo lungo il CSNO a Senago (1'000'000 m<sup>3</sup>).

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 Mm<sup>3</sup>.



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



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

Successivamente allo *Studio-AIPo-2011* sono state attivate ulteriori fasi di studio e soprattutto di progettazione che hanno aggiornato ed integrato il suddetto assetto di progetto.

In particolare, per quanto riguarda la porzione più settentrionale del bacino del Seveso, alcuni comuni hanno presentato delle proposte di intervento per realizzare altre aree di laminazione golenale nel tratto a monte rispetto ai suddetti interventi di laminazione golenale, in particolare:

- i comuni di Cavallasca, Grandate, Luisago, Montano Lucino, S. Fermo della Battaglia e Villa Guardia hanno presentato, nell'ambito del bando regionale per la concessione di contributi pubblicato sul BURL S.O. n. 43 del 22-10-2014, una proposta progettuale che prevede, tra l'altro, la realizzazione di n. 3 aree di laminazione golenale per una volumetria complessiva di circa 150'000 m<sup>3</sup>;
- il Comune di Fino Mornasco sta studiando la possibilità di prevedere un'area di laminazione golenale lungo il Rio Acquanegra, affluente del T. Seveso, per una volumetria di circa 10'000 m<sup>3</sup>.

Inoltre, nel mese di aprile 2015 è stato redatto dagli scriventi il “*Progetto preliminare di adeguamento delle aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Carimate e Cantù*”.

Tali interventi, già previsti nello *Studio-AIPo-2011*, sono stati progettati tenendo conto degli effetti di laminazione conseguenti agli interventi previsti più a monte e cercando di aumentare il volume di laminazione disponibile nelle diverse aree golenali, rispetto a quanto previsto nel suddetto studio.

In particolare, il progetto preliminare ha portato a definire le seguenti opere di laminazione (cfr. Figura 10):

- Comune di Vertemate con Minoprio:
  - Area di laminazione 1: volume pari a 66'500 m<sup>3</sup>;
  - Area di laminazione 2: volume pari a 71'500 m<sup>3</sup>;
  - Area di laminazione 3: volume pari a 71'800 m<sup>3</sup>;
- Comune di Cantù:
  - Area di laminazione 4: volume pari a 52'500 m<sup>3</sup>;
- Comune di Carimate:
  - Area di laminazione 5: volume pari a 57'500 m<sup>3</sup>;
  - Area di laminazione 6: volume pari a 202'300 m<sup>3</sup>.

Complessivamente il volume di invaso nelle sei aree golenali è pari a circa 522'100 m<sup>3</sup>, superiore di oltre 300'000 m<sup>3</sup> rispetto a quanto previsto nello *Studio-AIPo-2011*. Tale risultato è stato conseguito attraverso l’abbassamento del piano campagna mediante interventi di scavo e rimodellamento.



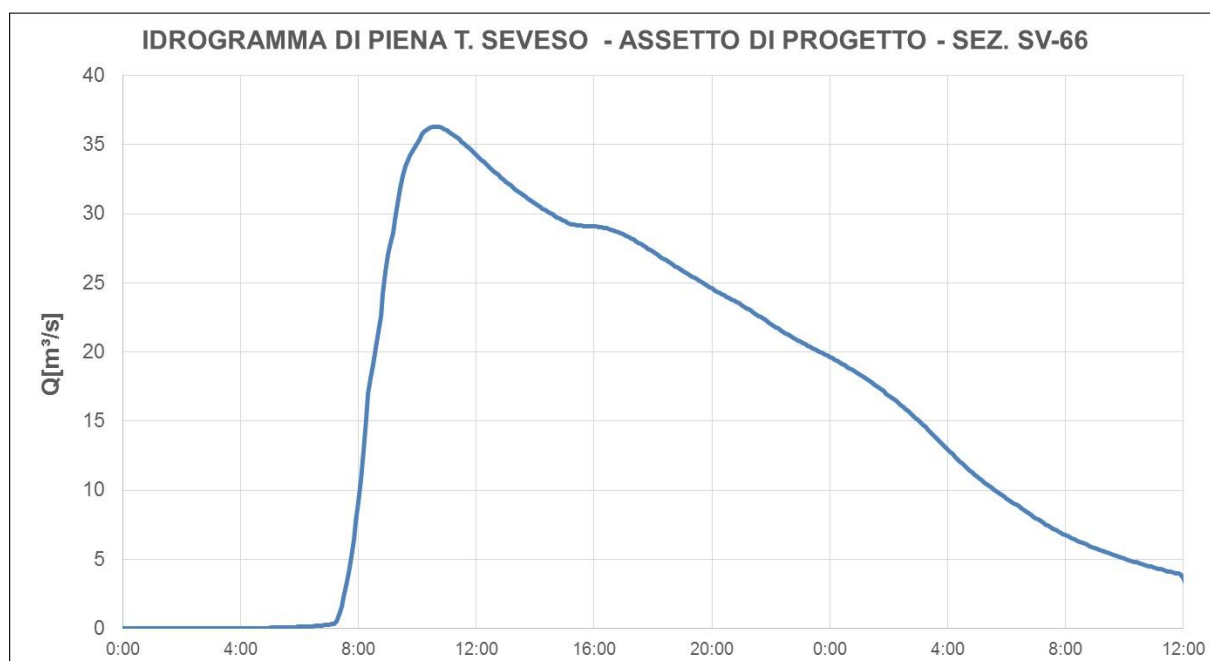


Figura 10 – Invasi di laminazione in aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate, secondo quanto previsto nel progetto preliminare (aprile 2015)

Di seguito si riporta l'idrogramma di piena di progetto ( $T=100$  anni) in corrispondenza della

sezione SV-66, posta a valle dell'ultima delle suddette aree di laminazione golenali, in corrispondenza del confine comunale tra Carimate e Lentate sul Seveso.

In tale idrogramma è compreso l'apporto del bacino idrografico del T. Serenza che si immette nel T. Seveso appena a valle dell'area di laminazione n. 6 in Comune di Carimate e una parte del sottobacino SEV-7.



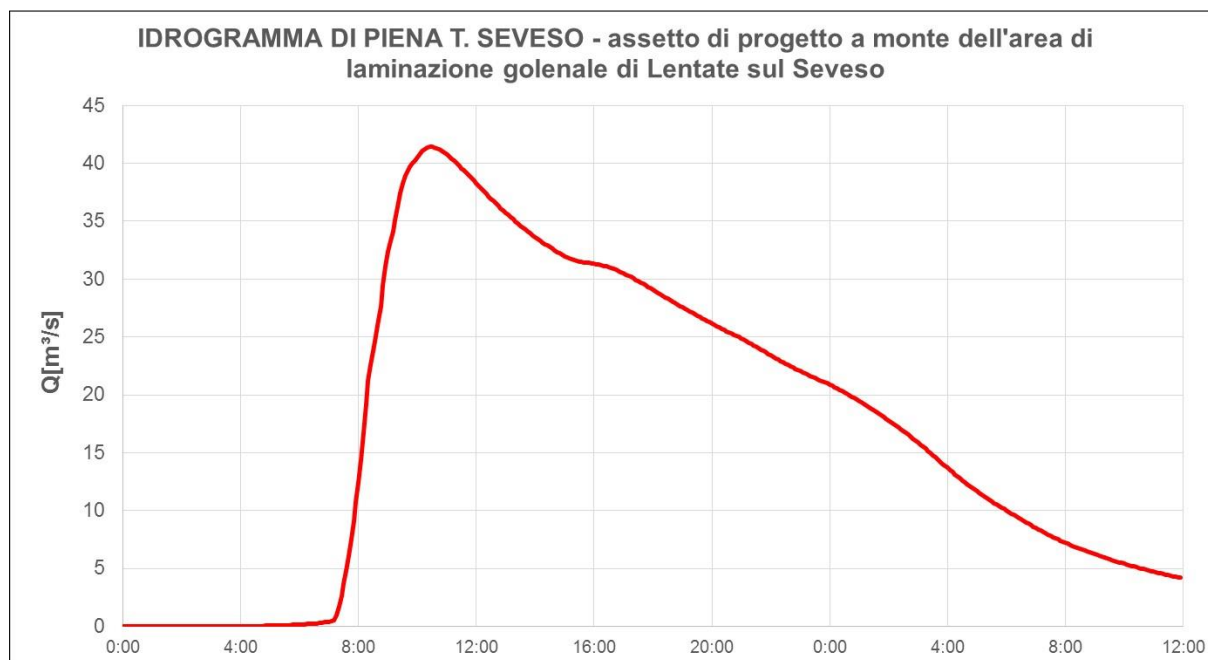
**Figura 11 – Idrogramma di piena di progetto a valle delle aree golenali di laminazione di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate**



## 29







**Figura 14 – Idrogramma di piena di progetto in corrispondenza dell'area di laminazione golenale di Lentate sul Seveso**

Lo studio idraulico di dettaglio dell'area di laminazione golenale è stato effettuato attraverso un modello idraulico bidimensionale a moto vario, implementato con il codice di calcolo *InfoWorks ICM*, sviluppato dall'azienda inglese *Innovyze*.

La geometria di calcolo è data da una mesh a elementi triangolari le cui caratteristiche geometriche sono fornite direttamente dal modello digitale del terreno utilizzato e dagli elementi di schematizzazione, inseriti al fine di descrivere con accuratezza le variazioni morfologiche ed altimetriche degli elementi realmente presenti sia all'interno che all'esterno dell'alveo principale (ponti, traverse, argini, rilevati stradali, ecc.).

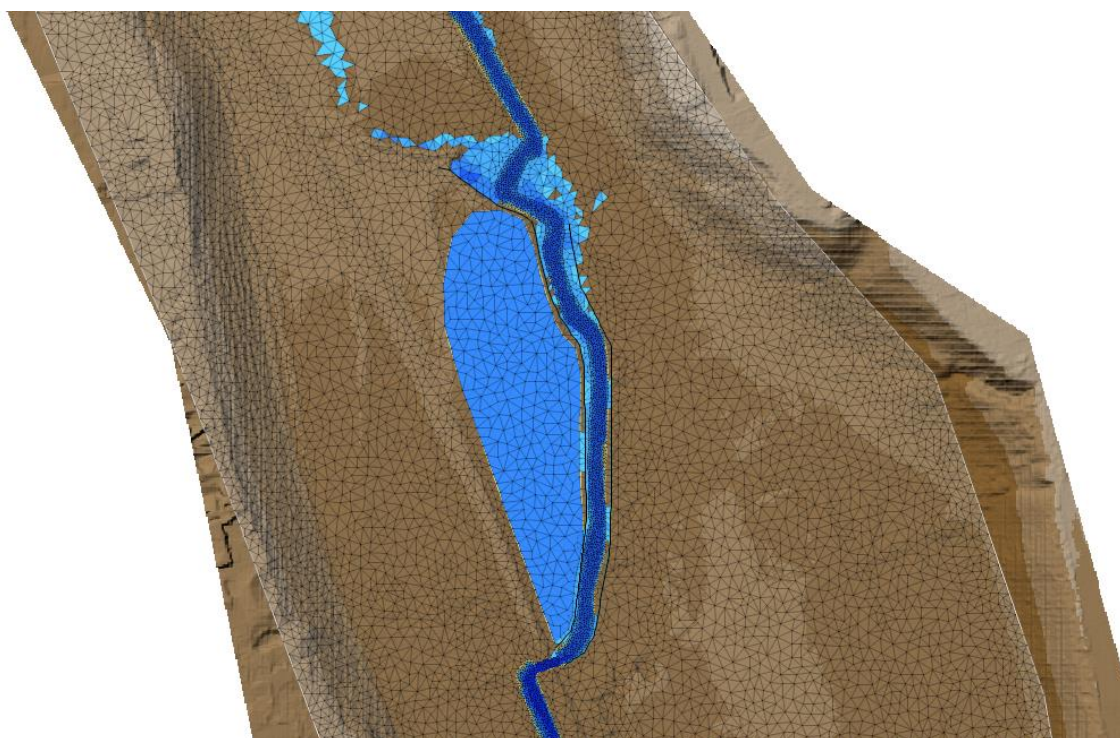
Le informazioni topografiche a disposizione a cui ci si è riferiti per implementare il modello sono le seguenti:

- rilievo topografico delle sezioni d'alveo ricavato 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 (AdBPO), relativi all'anno 2002;
- DTM ottenuto mediante l'elaborazione dei dati di un rilievo laser-altimetrico (LiDAR) dell'area di indagine, relativo al Piano Straordinario per il Telerilevamento Ambientale del Ministero dell'Ambiente della Tutela del Mare e del Territorio (2008÷2010).

In particolare il DTM è stato utilizzato per le porzioni della regione fluviale esterna all'alveo di magra, mentre le sezioni dell'AdBPo sono state utilizzate per definire le caratteristiche geometriche dell'alveo di magra, in quanto il rilievo LiDAR non è in grado di cogliere le quote di fondo alveo a causa della presenza dell'acqua.

Il modello idraulico bidimensionale è stato implementato con dettaglio per un tratto di circa 850 m dalla sezione SV65.1 alla sezione SV64 ed esteso per un tratto a valle sufficientemente lungo, affinché la condizione al contorno ivi imposta non influenzasse i livelli idraulici nelle zone di studio di monte.

Di seguito si riporta lo schema del modello di calcolo.



**Figura 15 – Planimetria del modello di calcolo bidimensionale**

Le caratteristiche principali dell'invaso sono le seguenti:

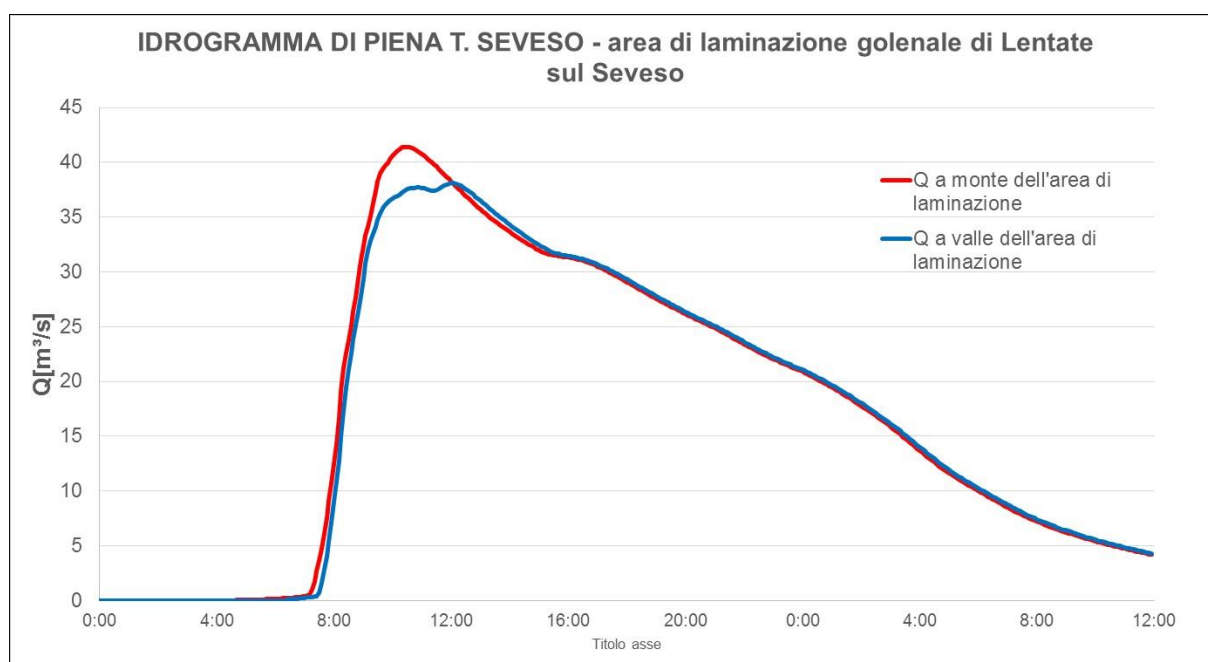
- Superficie: 16'000 m<sup>2</sup> circa
- Volume di laminazione: 20'000 m<sup>3</sup> circa
- Quota media piano campagna attuale: 228.0 m s.m.
- Quota media piano campagna di progetto: 226.0 m s.m.
- Quota di massimo invaso: 227.30 m s.m.
- Quota della soglia di sfioro: 227.1 m s.m.
- Lunghezza della soglia di sfioro: 30.0 m.



In particolare, avendo presente l'ubicazione in derivazione dell'invaso e la sua ridotta volumetria, si sono configurate le opere di presa e di scarico in modo da concentrare l'effetto laminante in corrispondenza del picco di piena. Conseguentemente la quota 227.1 m s.m. della soglia di ingresso è stata studiata in modo da non iniziare lo sfioro e quindi il fenomeno di vaso quando nel Seveso la portata in arrivo sia inferiore o uguale a circa 35 m<sup>3</sup>/s. Solo quando tale valore viene superato inizia lo sfioro e il conseguente processo di laminazione nell'area di laminazione.

Nella Figura 16 sono rappresentati gli idrogrammi di piena per tempo di ritorno pari a 100 anni nell'assetto di progetto, a monte e a valle dell'area di laminazione.

Dall'analisi dei risultati si osserva che per un evento di progetto con tempo di ritorno centennale, l'area di laminazione golenale in questione porta a ridurre il picco dell'idrogramma di piena da 41 a 38 m<sup>3</sup>/s. Per eventi di tempo di ritorno minore di 100 anni, evidentemente l'effetto di laminazione si riduce o è trascurabile.

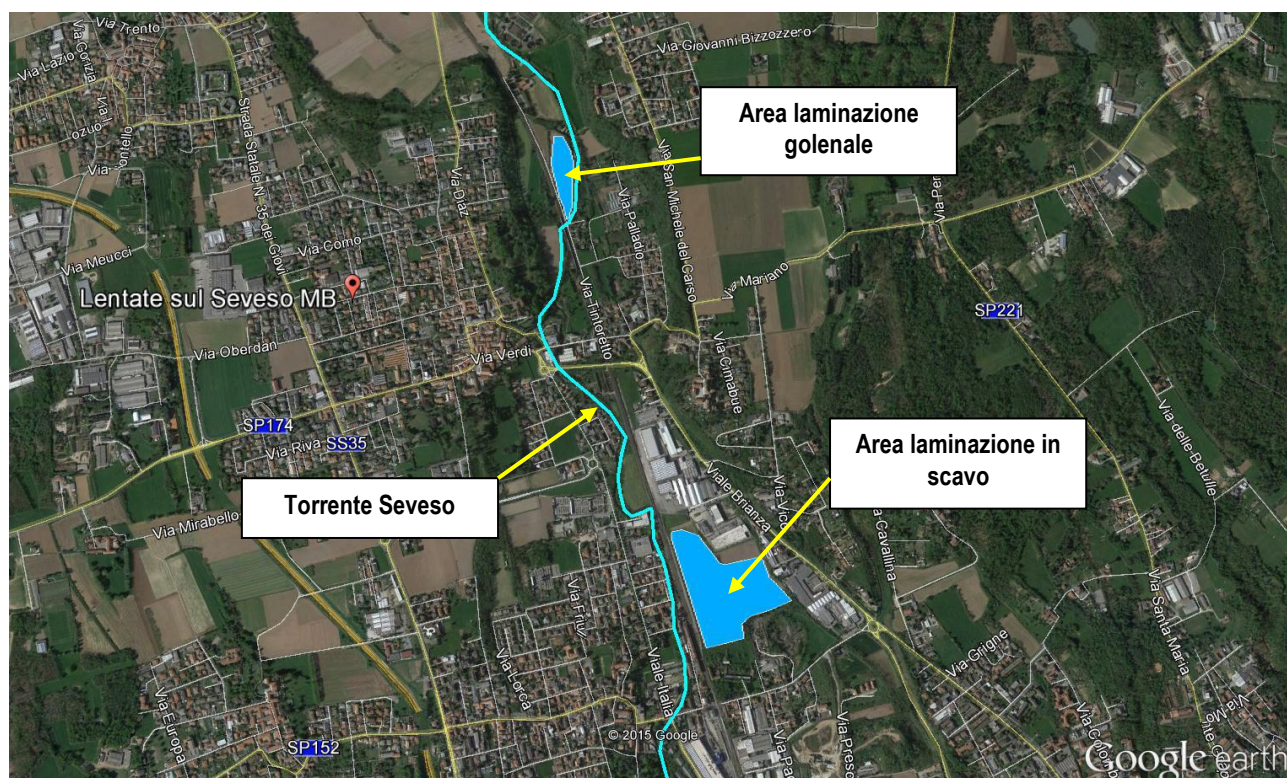


**Figura 16 – Idrogramma di piena a monte e a valle dell'area di laminazione golenale**

### 3.2 AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO

L'area di laminazione in scavo, già prevista in Comune di Lentate nell'ambito dello *Studio-AIPO-2011*, è ubicata in sponda sinistra del T. Seveso, nell'area agricola interclusa tra la linea

ferroviaria Milano – Como-Chiasso, a ovest, l'area industriale in località Gattona, a nord e a est e la cava Gallese a sud (cfr. Figura 17 e Figura 18).



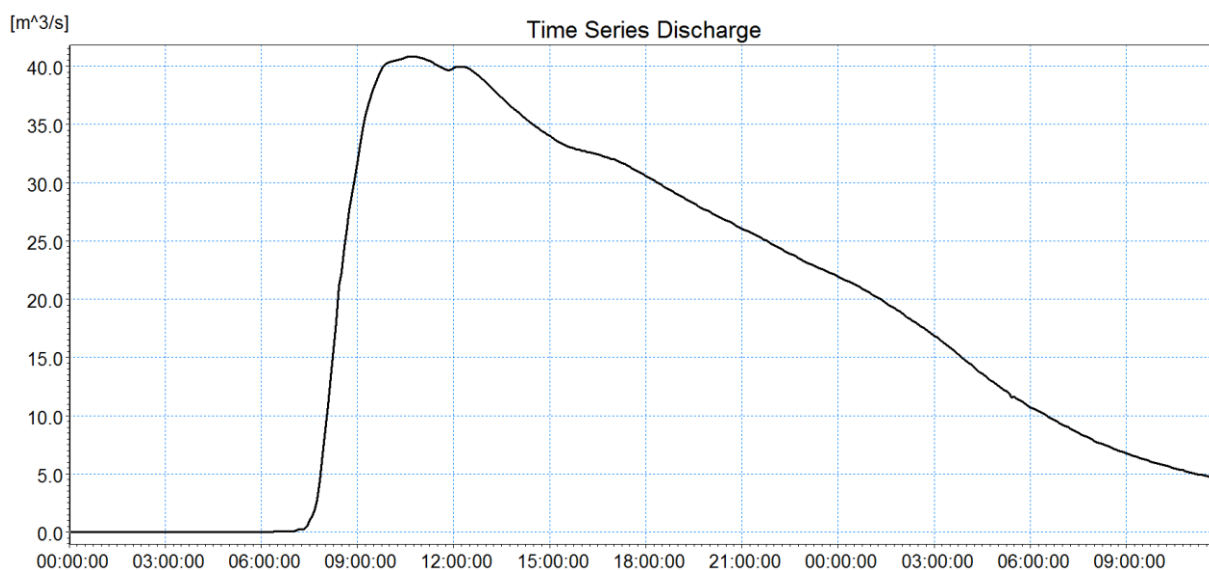
**Figura 17 – inquadramento territoriale degli interventi di laminazione in progetto**



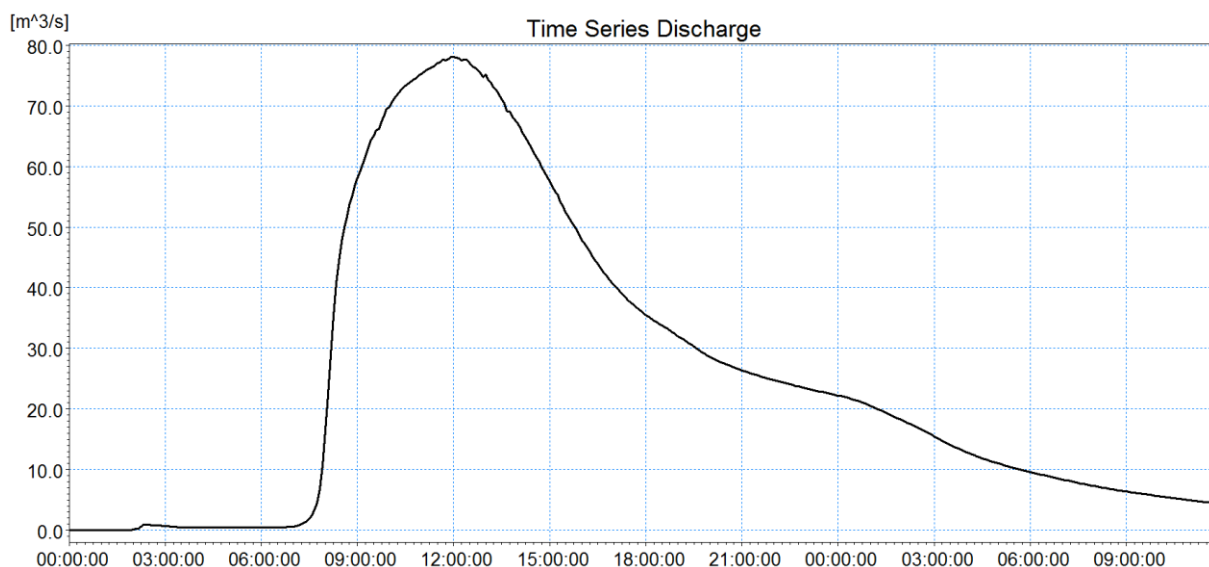


Nella Figura 20, invece, è riportato l'idrogramma di piena centennale nell'assetto attuale (da *Studio-AIPo-2011*), in assenza di tutti gli interventi di laminazione previsti nell'assetto di progetto.





**Figura 19 – Idrogramma di piena a monte dell’area di laminazione in scavo nell’assetto di progetto con tutti gli interventi di laminazione previsti a monte**



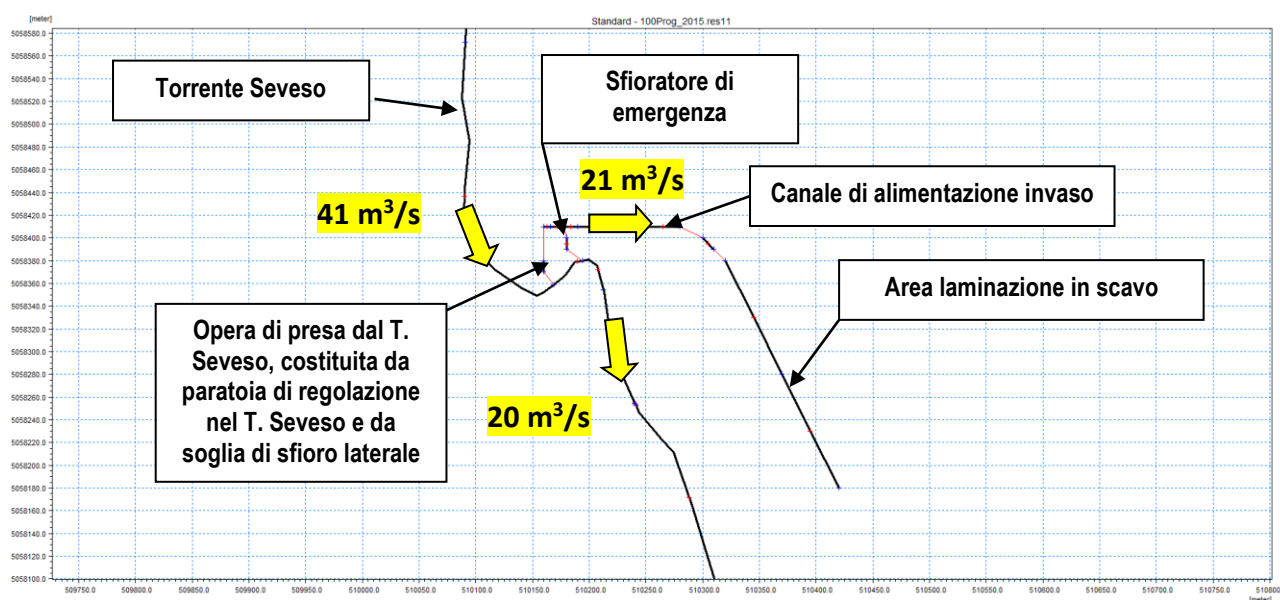
**Figura 20 – Idrogramma di piena a monte dell’area di laminazione in scavo nell’assetto attuale senza gli interventi di laminazione previsti a monte**

Pertanto, appena a monte del manufatto di presa della vasca di laminazione in scavo di Lentate sul Seveso, la portata centennale nella configurazione di progetto è stata valutata in circa 41  $m^3/s$  a fronte di una portata centennale nella situazione attuale di circa 78  $m^3/s$ , con una riduzione della portata di picco pari a circa 37  $m^3/s$ . Ciò rende molto diverso il dimensionamento dell’opera di presa nei confronti della situazione di progetto o della situazione attuale.

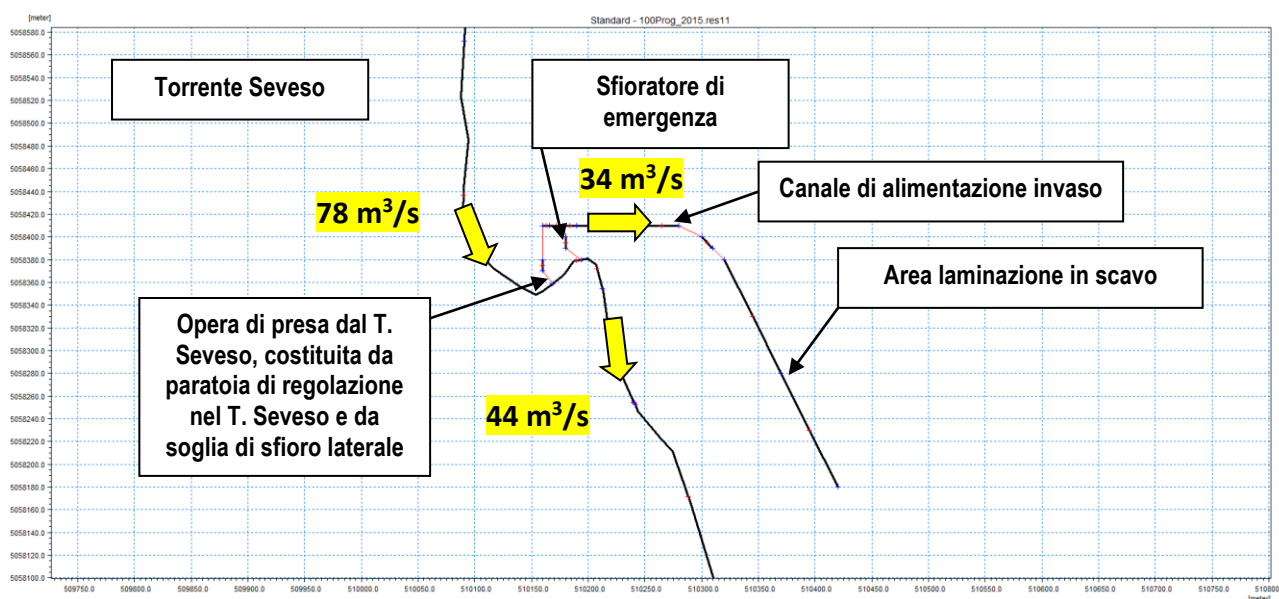
Per analizzare il funzionamento dell'invaso di laminazione in scavo è stato implementato un modello idraulico quasi-bidimensionale, utilizzando il codice di calcolo MIKE11 del DHI, a partire dal modello implementato dagli scriventi nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011*.

Di seguito si riporta lo schema planimetrico del modello, con indicata la suddivisione delle portate sfiorate e lasciate defluire in alveo, con riferimento ad un evento di tempo di ritorno centennale, nell'assetto di progetto (Figura 21) e nell'assetto attuale (Figura 22).

La differente ripartizione delle portate nei due differenti assetti di riferimento si ottiene attraverso un diverso grado di apertura delle paratoia di regolazione, in progetto, posta lungo il T. Seveso a valle della soglia di sfioro per l'alimentazione dell'area di laminazione in scavo.



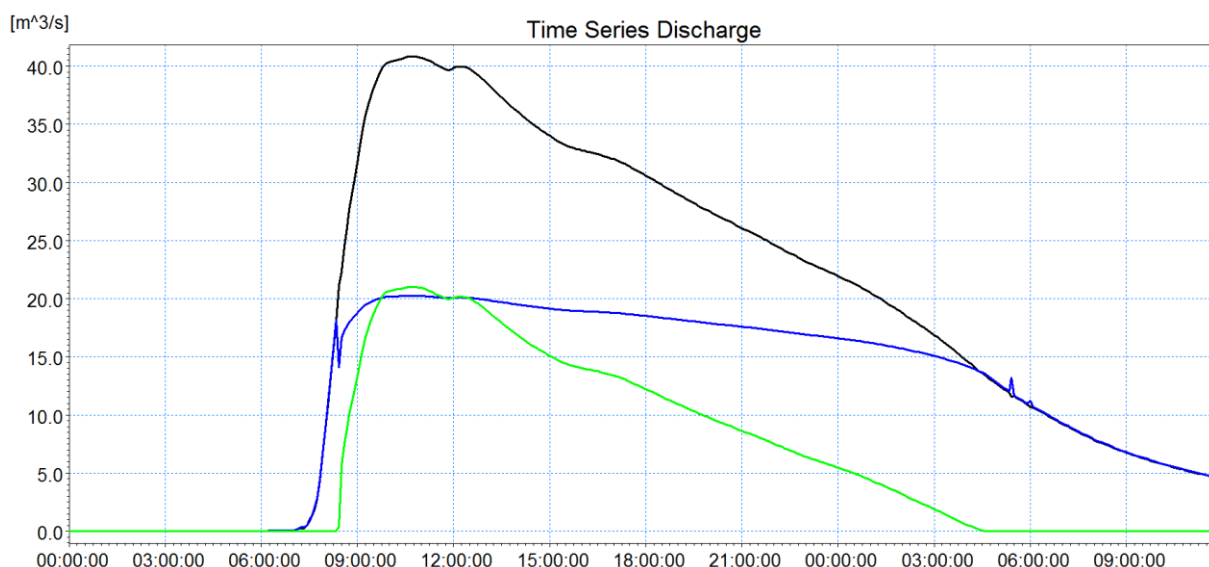
**Figura 21 – Schema planimetrico del sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto di progetto**



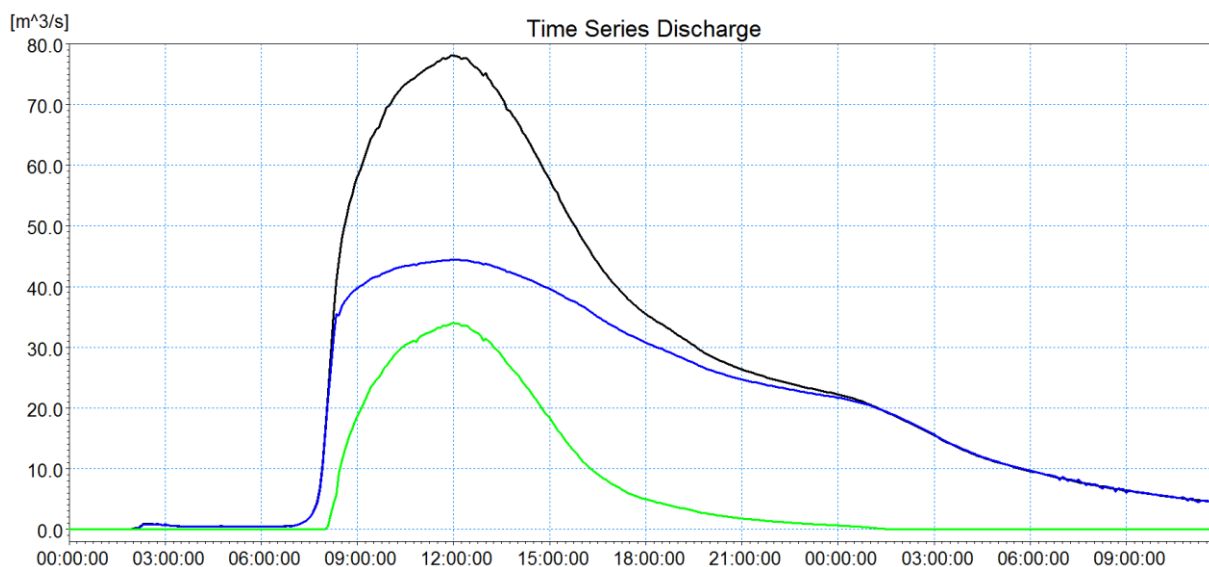
**Figura 22 – Schema planimetrico del sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto attuale**

Nelle figure seguenti (Figura 23 e Figura 24) sono riportati gli idrogrammi di piena, nelle due configurazioni, relativi alle tre sezioni di interesse: monte opera di presa, valle opera di presa e ingresso nell'area di laminazione. La ripartizione delle portate è stata effettuata in modo tale che, in entrambi gli assetti di riferimento, il volume dell'idrogramma sfiorato nell'area di laminazione fosse prossimo al volume di laminazione disponibile, pari a circa 808'000 m<sup>3</sup>.

Con tali valori di portata sono stati effettuati i calcoli di dimensionamento delle diverse opere idrauliche previste in progetto.



**Figura 23 – Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto di progetto a monte dell’area di laminazione (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione – V= ~808'000 m<sup>3</sup>)**



**Figura 24 – Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto attuale a monte dell’area di laminazione (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione – V= ~808'000 m<sup>3</sup>)**

Per verificare il funzionamento dell’opera di laminazione nei confronti di un evento eccezionale, al quale occorre riferirsi, ad esempio, per il dimensionamento delle arginature perimetrali all’area di laminazione (definizione della quota di coronamento), sono state effettuate ulteriori simulazioni idrauliche con il suddetto modello quasi-bidimensionale.

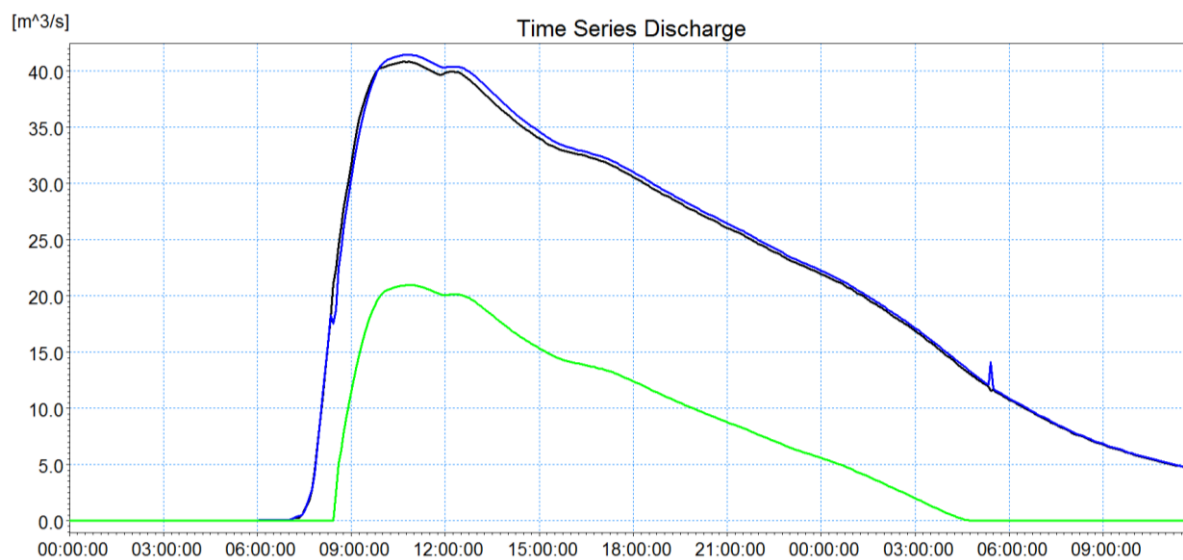
In particolare, si è ipotizzato che le precedenti onde di piena (con e senza interventi di laminazione a monte dell’area di laminazione in scavo) possano sopraggiungere in condizioni

di area di laminazione già invasata fino al livello di massima regolazione (pari a 220.80 m s.m.).

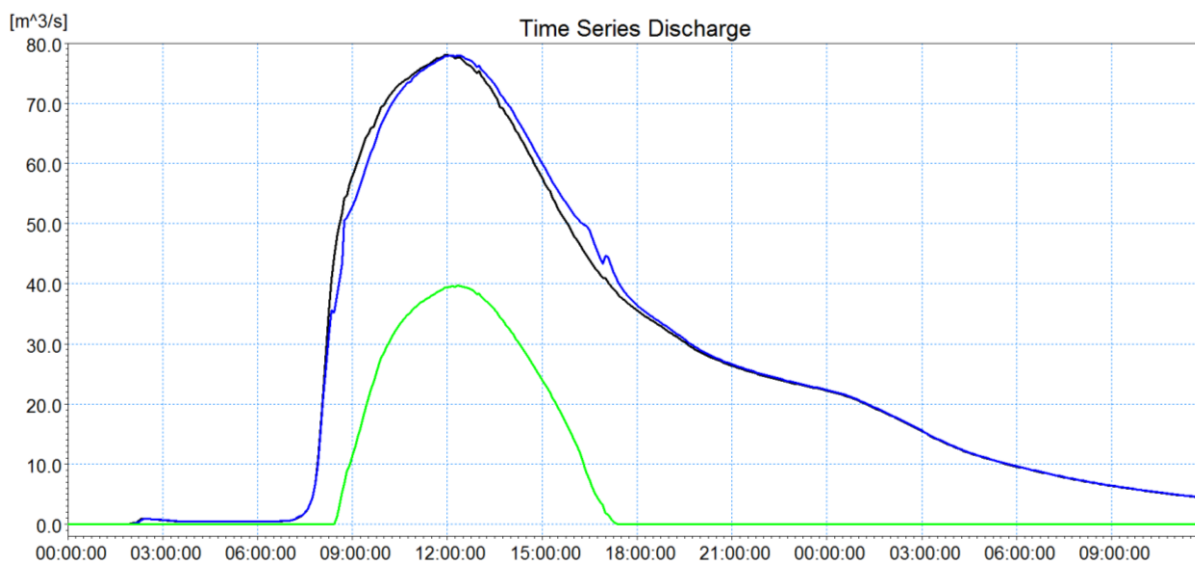
Per evitare di alimentare l'invaso di laminazione quando questo è già pieno ed evitare che il livello idrico superi il livello di massima regolazione, è prevista in progetto l'installazione, lungo il canale di alimentazione dell'invaso, di una paratoia di sezionamento che si chiude automaticamente quando il livello nell'invaso è pari al livello di massima regolazione, in modo tale da evitare l'ulteriore innalzamento del livello di vaso oltre la quota 220.80 m s.m..

In tali condizioni, occorre che la portata deviata dal Seveso nel canale di alimentazione attraverso lo sfioratore dell'opera di presa, possa defluire nuovamente in Seveso. Per tale necessità è prevista un'ulteriore soglia di sfioro, detta di emergenza.

In particolare, tale sfioratore è posto lungo il canale di alimentazione dell'invaso, a valle della paratoia di regolazione dell'opera di presa, ma a monte della suddetta paratoia di sezionamento. Nelle figure seguenti (Figura 25 e Figura 26) sono riportati gli idrogrammi di piena in tale scenario eccezionale, relativi a tre sezioni di interesse: monte opera di presa, valle opera di presa, sfioratore di emergenza. In tali simulazioni la portata in ingresso all'area di laminazione è nulla.



**Figura 25 – Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto di progetto a monte dell'area di laminazione – evento eccezionale (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: portata defluente attraverso lo sfioro di emergenza)**



**Figura 26 – Idrogrammi relativi al sistema idraulico della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso (T=100 anni) – assetto attuale a monte dell’area di laminazione – evento eccezionale (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: portata defluente attraverso lo sfioro di emergenza)**

In caso di eventi eccezionali, però, non è da escludere che la paratoia possa non chiudersi e quindi il canale di alimentazione possa continuare a mettere in comunicazione il T. Seveso con l’area di laminazione. In tal caso il livello di massimo invaso nell’area di laminazione si porterebbe ad un livello pari a quello nel canale di alimentazione in corrispondenza dello sfioratore di emergenza. Tale situazione è più oltre descritta.



## 4. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO AFFERENTE ALL'AREA DI LAMINAZIONE IN SCAVO

### 4.1 GENERALITÀ

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico dell'area di laminazione in scavo sono le seguenti (per una descrizione più dettagliata si rimanda alla “*Relazione tecnica descrittiva delle opere in progetto*”, elaborato A.2):

- area di laminazione fuori linea rispetto al T. Seveso, caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo di circa 808'000 m<sup>3</sup>. L'invaso può essere svuotato solo mediante una stazione di sollevamento, dimensionata su di una portata massima di circa 5 m<sup>3</sup>/s;
- opera di presa dal T. Seveso realizzata attraverso la riconfigurazione locale dell'alveo con un canale artificiale a sezione rettangolare largo 6.50 m, una soglia di sfioro laterale lunga 15 m con quota in sommità pari a 220.8 m s.m. ed un restringimento a valle dello sfioratore, necessario per imporre una sezione di controllo, costituito da una paratoia di regolazione a sezione rettangolare con larghezza di base di 6.50 m e altezza di apertura rispetto al fondo pari a 0.80 m (assetto di riferimento definitivo, con interventi di laminazione realizzati a monte), oppure pari a 1.50 m (assetto di riferimento provvisorio, senza interventi di laminazione a monte);
- canale di alimentazione dell'invaso, a sezione rettangolare 4.00x4.00 m (ad eccezione del tratto in sottopasso alla ferrovia in cui è prevista la posa in spingitubo di due condotte circolari di 3,2 m di diametro), di lunghezza pari a circa 200 m, con pendenza di fondo pari al 5‰;
- 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 fondo dell'area di laminazione;
- 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 dell'area di laminazione in progetto.

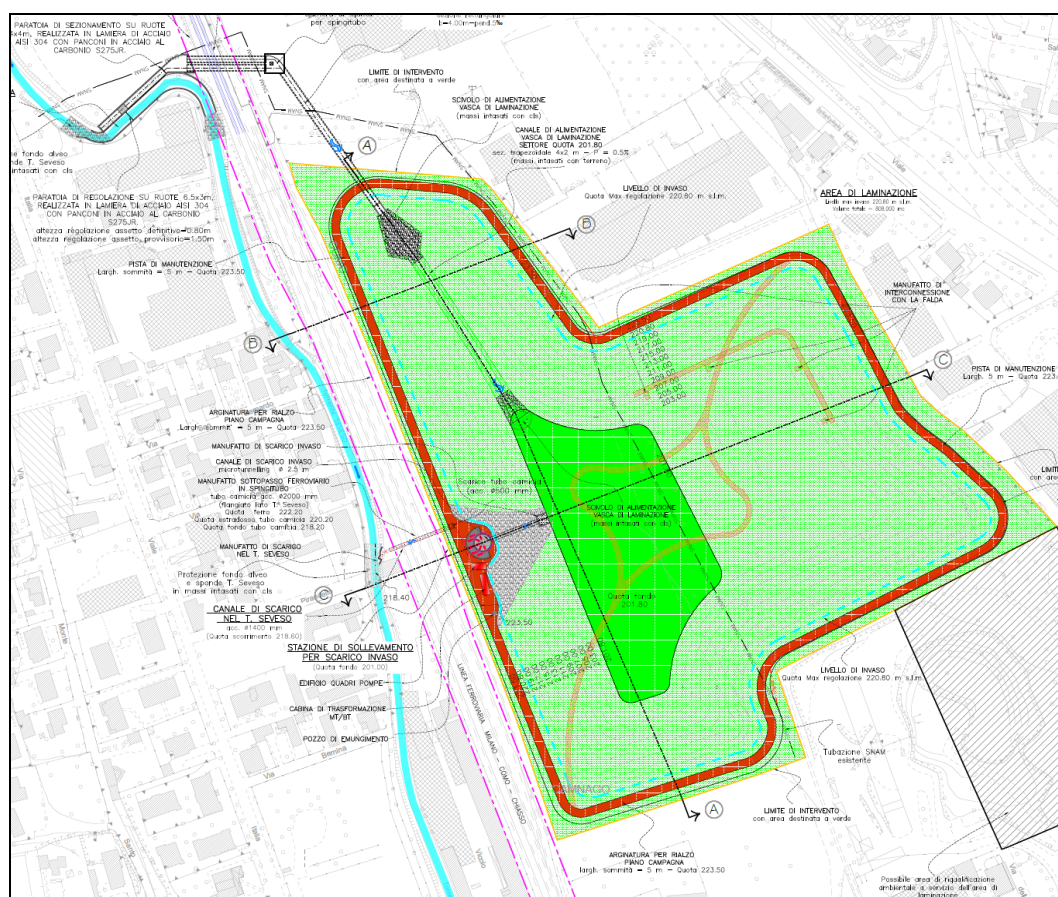
## 4.2 INVASO DI LAMINAZIONE

L'opera di laminazione, come già detto in precedenza, è caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo pari a circa 808'000 m<sup>3</sup> alla quota di massima regolazione di 220.80 m s.m.

Nella Tabella 3 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'opera di laminazione in progetto.

**Tabella 3 – Caratteristiche dell'area di laminazione**

Volume di invaso [m <sup>3</sup> ]	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 <sup>2</sup> ]	Superficie alla quota di fondo vasca [m <sup>2</sup> ]
808'000	201.80	220.80	223.50	67'000	11'640



**Figura 27 – Planimetria di progetto dell'invaso di laminazione in scavo di Lentate sul Seveso**

## 4.3 OPERA DI PRESA

### 4.3.1 Configurazione dell'opera di presa nell'assetto di progetto

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 220.80 m s.m., avente una lunghezza pari a 15 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 219.50 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 1.3 m.

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale a sezione rettangolare, di larghezza pari a 4 m, per l'alimentazione dell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso.

Lungo il Seveso, dopo la soglia sfiorante è prevista la formazione di una sezione di controllo idraulico senza restringimenti laterali mediante l'interposizione di una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 6.5 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.

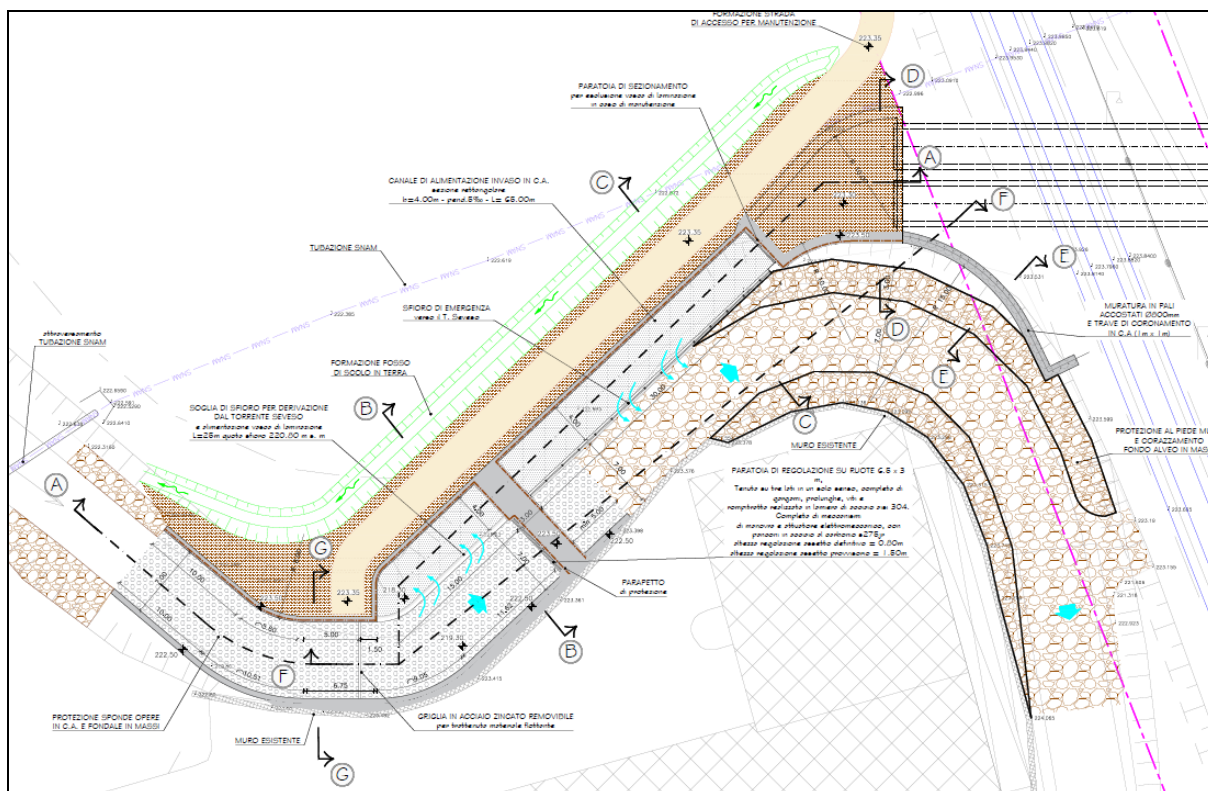


Figura 28 – Planimetria di progetto dell'opera di presa dal T. Seveso

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 41 m<sup>3</sup>/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 21 m<sup>3</sup>/s, così da ridurre la portata verso valle a 20 m<sup>3</sup>/s.

Il Seveso in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione pressoché rettangolare delimitata in destra idraulica da un muro arginale verticale in c.a.. La sezione è assunta con scabrezza media di Strickler pari a 40 m<sup>1/3</sup>/s, con base pari a 7.0 m e pendenza di fondo pari all'2‰.

Imponendo che la paratoia lasci una luce libera di altezza pari a 0,8 m (quindi con sezione contratta di 6,5 x 0,8 x 0,61 = 3,20 m<sup>2</sup>), il livello idrico di rigurgito a monte della paratoia con la portata in arrivo, a valle dello sfioratore, pari a 20 m<sup>3</sup>/s risulta pari a circa 222.00 m s.m..

Con tale livello di rigurgito, pari a 2,5 m rispetto al fondo, il dimensionamento dello 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 0,385 (soglia di sfioro a larga soglia), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

$$\Delta q = 0,385 \cdot \Delta x \cdot (h - c) \sqrt{2g(h - c)}$$

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

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

in cui:

$\Delta q$  è la portata sfiorata in un tratto di lunghezza  $\Delta x$  [m<sup>3</sup>/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];

$Q_{\text{monte}}$  è la portata a monte dello sfioratore [m<sup>3</sup>/s];

$Q_{\text{valle}}$  è la portata a valle dello sfioratore [m<sup>3</sup>/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):  
6,5 x 0.8 m;
- altezza della corrente lenta a monte del restringimento e a valle dello sfioratore:  
2,5 m;
- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo dell'alveo:  
1,3 m;
- lunghezza della soglia sfiorante:  
12,0 m;
- portata del Seveso a monte dello sfioratore:  
41,0 m<sup>3</sup>/s;
- portata del Seveso a valle dello sfioratore:  
20,0 m<sup>3</sup>/s
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore:  
2,1 m.

Nel Seveso, appena a valle della paratoia, si instaura un profilo di corrente veloce ritardata.

Questa, attraverso un risalto idraulico si raccorda al profilo in corrente lenta, caratterizzato da un livello idrico pari a circa 1.7 m.

Per tenere in conto degli effetti di contrazione laterale della corrente, a favore di sicurezza si prevede di realizzare una soglia di sfioro lunga 15 m.

#### **4.3.2 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 Lentate sul Seveso 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.

Anche in questo caso 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 220.80 m s.m., avente una lunghezza pari a 15 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 219.50 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 1.3 m.

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale a sezione rettangolare, di larghezza pari a 4 m, per l'alimentazione dell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso.

Lungo il Seveso, dopo la soglia sfiorante è prevista la formazione di una sezione di controllo idraulico senza restringimenti laterali mediante l'interposizione di una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 6.5 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 nell'assetto attuale proveniente da monte pari a 78 m<sup>3</sup>/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 34 m<sup>3</sup>/s, così da ridurre la portata verso valle a 44 m<sup>3</sup>/s.

Il Seveso in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione pressoché rettangolare delimitata in destra idraulica da un muro arginale verticale in c.a.. La sezione è assunta con scabrezza media di Strickler pari a 40 m<sup>1/3</sup>/s, con base pari a 7.0 m e pendenza di fondo pari all'2‰.

Imponendo che la paratoia lasci una luce libera di altezza pari a 1,5 m (quindi con sezione contratta di 6,5 x 1,5 x 0,61 = 5,95 m<sup>2</sup>), il livello idrico di rigurgito a monte della paratoia con la portata in arrivo, a valle dello sfioratore, pari a 44 m<sup>3</sup>/s risulta pari a circa 223.10 m s.m..

Con tale livello di rigurgito, pari a 3.6 m rispetto al fondo, il dimensionamento dello 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 0,385 (soglia di sfioro a larga soglia), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

$$\Delta q = 0,385 \cdot \Delta x \cdot (h - c) \sqrt{2g(h - c)}$$

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

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



in cui:

$\Delta q$  è la portata sfiorata in un tratto di lunghezza  $\Delta x$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$h$  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 [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$Q_{valle}$  è la portata a valle dello sfioratore [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

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):  
6.5 x 1.5 m;
- altezza della corrente lenta a monte del restringimento e a valle dello sfioratore:  
3.7 m;
- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo dell'alveo: 1.3 m;
- lunghezza della soglia sfiorante: 14,0 m;
- portata del Seveso a monte dello sfioratore: 78,0  $\text{m}^3/\text{s}$ ;
- portata del Seveso a valle dello sfioratore: 44,0  $\text{m}^3/\text{s}$
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore: 1,7 m.

Nel Seveso, appena a valle della paratoia, si instaura un profilo di corrente veloce ritardata.

Questa, attraverso un risalto idraulico si raccorda al profilo in corrente lenta, caratterizzato da un livello idrico pari a circa 1.8 m.

## 4.4 SFIORATORE DI EMERGENZA

### 4.4.1 Configurazione dell'opera nell'assetto di progetto

Lungo il canale di alimentazione dell'invaso, appena a valle della soglia di sfioro dell'opera di presa dal T. Seveso, è prevista la realizzazione di una soglia di sfioro di emergenza, per recapitare in Seveso, a valle della paratoia di regolazione dell'opera di presa, le portate di eventi eccezionali che vengono derivate anche quando l'area di laminazione ha già raggiunto la quota di massima regolazione (cfr. paragrafo 3.2).

Lo sfioro di emergenza è costituito da una soglia laterale in c.a. del tipo a stramazzo, con il ciglio posto alla quota di 220.80 m s.m. (pari alla quota della soglia di sfioro dell'opera di presa), avente una lunghezza pari a 30 m.

In corrispondenza dello sfioratore il canale di alimentazione è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 218.05 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro sul fondo del canale è pari a 2.75 m.

Siccome la portata verso l'area di laminazione è nulla per effetto della chiusura della paratoia di sezionamento, dallo sfioratore di emergenza effluisce l'intera la portata derivata dall'opera di presa.

La legge di efflusso che governa lo sfioratore di emergenza è quindi:

$$Q = \mu L h (2 g h)^{0.5}$$

dove

$Q$  è la portata defluente attraverso la soglia di sfioro [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$\mu$  è il coefficiente di efflusso sulla soglia di sfioro pari a 0,385 (soglia di sfioro a larga soglia);

$h$  è il tirante idrico al di sopra della soglia di sfioro [m];

$L$  è la lunghezza dello sfioratore di emergenza [m].

Si è proceduto con un calcolo iterativo, avendo posto pari a 30 m la lunghezza dello sfioratore e considerando un coefficiente di efflusso sulla soglia di sfioro pari a 0,385, ipotizzando l'altezza dell'acqua sulla soglia sfiorante ed effettuato il calcolo del processo di sfioro fino a quando la portata sfiorata non risulti uguale a quella proveniente dalla soglia di sfioro dell'opera di presa, quindi uguale a 21  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Il calcolo porta a definire un'altezza sullo sfioro pari a 0.56 m (221.36 m s.m.).

Siccome il livello nel T. Seveso in corrispondenza dello sfioratore di emergenza è pari a 221.20 m s.m. (per  $Q = 41,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ), quindi superiore alla quota dello sfioratore (pari a 220.8 m s.m.), quest'ultimo risulta essere rigurgitato.

Per il calcolo dello sfioratore rigurgitato è stato utilizzato l'abaco riportato in Figura 29.

Il valore di  $h_2$  è pari a 0.4 m (221.20 m s.m. – 220.80 m s.m.), mentre  $n$  è pari a 1.5.

Si è proceduto con un calcolo iterativo, ipotizzando un valore di  $h_0$  maggiore del valore ottenuto come sfioratore non rigurgitato (0.56 m), a cui corrisponde un valore di  $Q$  maggiore di 21  $\text{m}^3/\text{s}$ , fino a quando si ottiene un valore di  $Q_s$  pari a 21  $\text{m}^3/\text{s}$ .

Dal calcolo si ottiene che con un valore di  $h_0$  pari a 0.66 m si ha  $Q = 27.4 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(h_2/h_0)^{1.5} = 0.47$ ,  $Q/Q_s = 0.77$ , quindi  $Q_s = 21 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Pertanto, il livello idrico a monte dello sfioratore di emergenza è pari a 221.46 m s.m. (220.80 m s.m.+ 0.66 m).

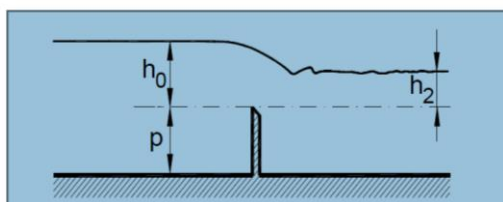
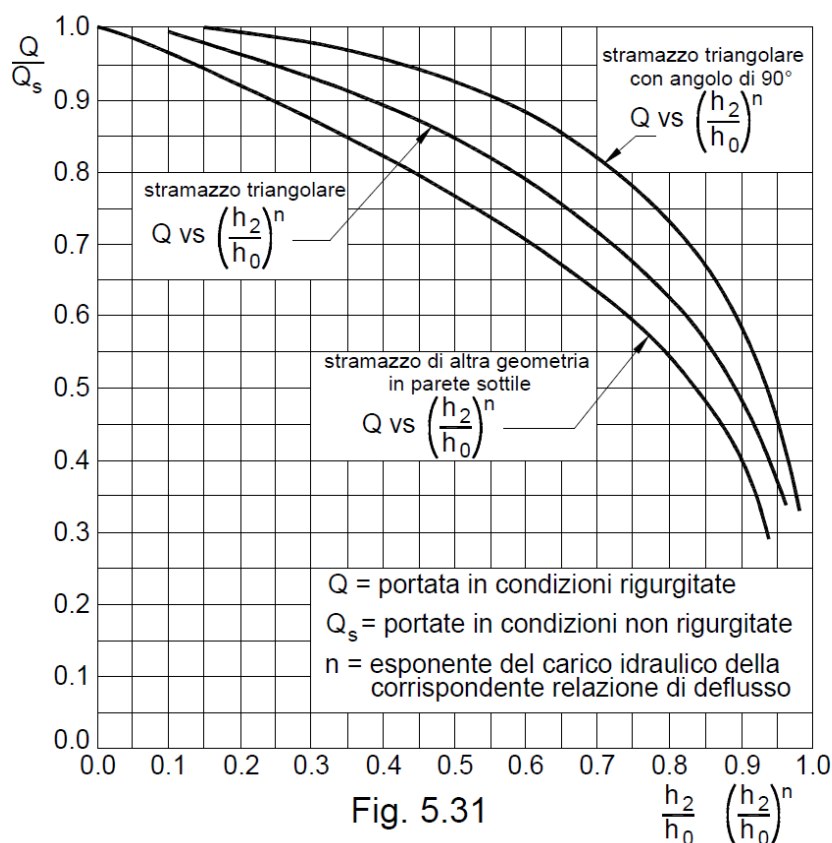


Figura 29 – Abaco per il calcolo dello sfioratore rigurgitato

#### 4.4.2 Configurazione dell'opera nell'assetto attuale

Ripetendo i medesimi calcoli per l'assetto attuale in assenza di opere di laminazione a monte, si ottengono i seguenti risultati.

Si è proceduto con un calcolo iterativo, avendo posto pari a 30 m la lunghezza dello sfioratore e considerando un coefficiente di efflusso sulla soglia di sfioro pari a 0,4, ipotizzando l'altezza dell'acqua sulla soglia sfiorante ed effettuato il calcolo del processo di sfioro fino a

quando la portata sfiorata non risulti uguale a quella proveniente dalla soglia di sfioro dell'opera di presa, quindi uguale a  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il calcolo porta a definire un'altezza sullo sfioro pari a  $0.83 \text{ m}$  ( $221.63 \text{ m s.m.}$ ).

Siccome il livello nel T. Seveso in corrispondenza dello sfioratore di emergenza è pari a  $222.00 \text{ m s.m.}$  (per  $Q = 78,0 \text{ m}^3/\text{s}$ ), quindi superiore alla quota dello sfioratore (pari a  $221.3 \text{ m s.m.}$ ), quest'ultimo risulta essere rigurgitato.

Per il calcolo dello sfioratore rigurgitato è stato utilizzato l'abaco riportato in Figura 29.

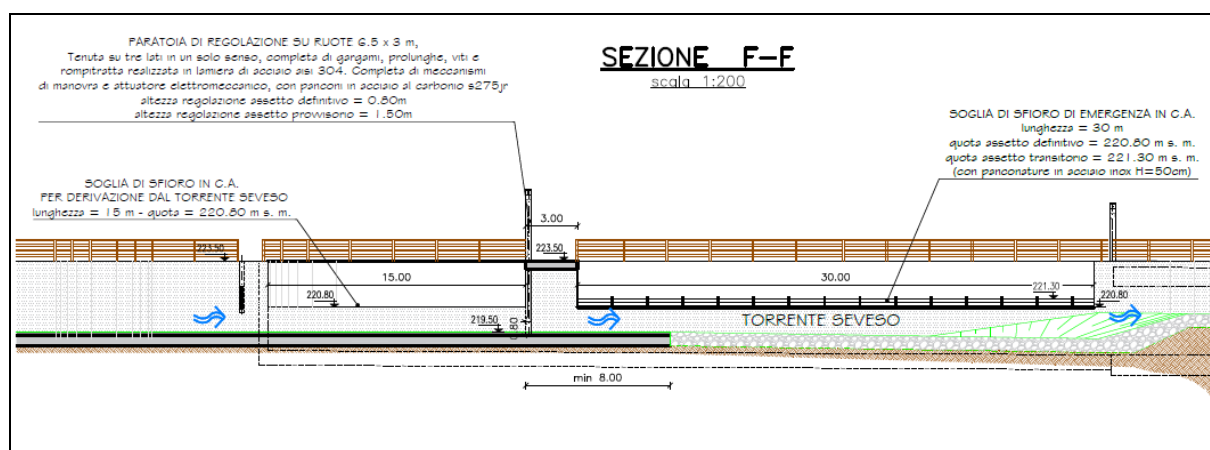
Il valore di  $h_2$  è pari a  $0.7 \text{ m}$  ( $222.00 \text{ m s.m.} - 221.30 \text{ m s.m.}$ ), mentre  $n$  è pari a  $1.5$ .

Si è proceduto con un calcolo iterativo, ipotizzando un valore di  $h_0$  maggiore del valore ottenuto come sfioratore non rigurgitato ( $0.83 \text{ m}$ ), a cui corrisponde un valore di  $Q$  maggiore di  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ , fino a quando si ottiene un valore di  $Q_s$  pari a  $40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Dal calcolo si ottiene che con un valore di  $h_0$  pari a  $1.02 \text{ m}$  si ha  $Q = 54.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $(h_2/h_0)^{1.5} = 0.57$ ,  $Q/Q_s = 0.73$ , quindi  $Q_s = 40 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Pertanto, il livello idrico a monte dello sfioratore di emergenza è pari a  $222.32 \text{ m s.m.}$  ( $221.30 \text{ m s.m.} + 1.02 \text{ m}$ ).

Per rispettare entrambe le condizioni sopra esposte lo sfioro di emergenza verrà realizzato in c.a. fino alla quota definita nell'assetto di progetto, pari a  $220.80 \text{ m s.m.}$ , e verranno posati dei panconi, con sommità fino alla quota  $221.30 \text{ m s.m.}$  qualora la vasca di laminazione di Lentate venga realizzata prima delle altre opere di laminazione previste a monte. Quanto sopra è rappresentato nella Figura 30.



**Figura 30 – Profilo longitudinale dell'opera di presa dal T. Seveso con riportato anche lo sfioro di emergenza**



#### 4.5 DETERMINAZIONE DELLA QUOTA DI CORONAMENTO DELLE ARGINATURE PERIMETRALI

Ai fini della determinazione della quota di coronamento arginale della vasca di laminazione, 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.

Ammesso cautelativamente che il colmo di piena avvenga eccezionalmente dopo un completo riempimento della vasca che porti il livello di invaso alla stessa quota del livello nel canale di alimentazione per effetto del funzionamento dello sfioratore di emergenza (mancata chiusura della paratoia di sezionamento del canale di alimentazione), il livello che si avrà nell'invaso sarà pari, in relazione ai calcoli effettuati nel paragrafo precedente, a 222.32 m s.m.

Scenario 2 (eccezionale) – Assetto di progetto (opere di laminazione previste a monte completamente realizzate) e piena  $T = 100$  anni con colmo successivo al completo riempimento della vasca.

Ammesso cautelativamente che il colmo di piena avvenga eccezionalmente dopo un completo riempimento della vasca che porti il livello di invaso alla stessa quota del livello nel canale di alimentazione per effetto del funzionamento dello sfioratore di emergenza (mancata chiusura della paratoia di sezionamento del canale di alimentazione), il livello che si avrà nell'invaso sarà pari, in relazione ai calcoli effettuati nel paragrafo precedente, a 221.46 m s.m.

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

In corrispondenza dell'opera di presa il Seveso presenta allo stato attuale per l'evento centennale una portata al colmo di 78 m<sup>3</sup>/s. Imponendo la derivazione verso la vasca determinata dal sfioratore laterale sopracitato, la portata massima sfiorata in corrispondenza del colmo di piena in arrivo è pari 34 m<sup>3</sup>/s. Il conseguente riempimento della vasca provocato dall'onda sfiorata determina un massimo riempimento pari a:

- livello di massimo invaso di progetto = 220.80 m s.m..

Scenario 4 - Stato di progetto (opere di laminazione previste a monte completamente realizzate) con effetto di laminazione per l'evento  $T = 100$  anni.

In corrispondenza dell'opera di presa il Seveso presenta allo stato attuale per l'evento centennale una portata al colmo di  $41 \text{ m}^3/\text{s}$ . Imponendo la derivazione verso la vasca determinata dal sfioratore laterale sopracitato, la portata massima sfiorata in corrispondenza del colmo di piena in arrivo è pari  $21 \text{ m}^3/\text{s}$ . Il conseguente riempimento della vasca provocato dall'onda sfiorata determina un massimo riempimento pari a:

- *livello di massimo invaso di progetto* = 220.80 m s.m..

Il coronamento delle arginature di confinamento dell'invaso è quindi stato posto ad una quota pari a 223.50 m s.m., garantendo quindi un franco di sicurezza pari a:

- nello scenario eccezionale 1 relativo allo stato attuale (mancata realizzazione di tutti gli interventi di laminazione previsti a monte) con colmo sopraggiungente dopo il completo riempimento della vasca (livello di massimo invaso di 222,32 m s.m.) =  $223,50 - 222,32 = 1,18 \text{ m}$
- nello scenario eccezionale 2 relativo all'assetto di progetto con colmo sopraggiungente dopo il completo riempimento della vasca (livello di massimo invaso di 221,46 m s.m.) =  $223,50 - 221,46 = 2,04 \text{ m}$
- nello scenario 3 relativo allo stato attuale (livello di massimo invaso di 220.80 m s.m.) =  $223,50 - 220,80 = 2,70 \text{ m}$
- nello scenario 4 nella configurazione di progetto (livello di massimo invaso di 220,80 m s.m.) =  $223,50 - 220,80 = 2,70 \text{ m}$ .

Si ricorda che negli scenari 1 e 2 si è anche considerata la mancata chiusura della paratoia di sezionamento del canale di alimentazione dell'invaso, che in caso di raggiungimento nell'invaso del livello di massima regolazione (220.80 m s.m.) chiude l'alimentazione dell'invaso.

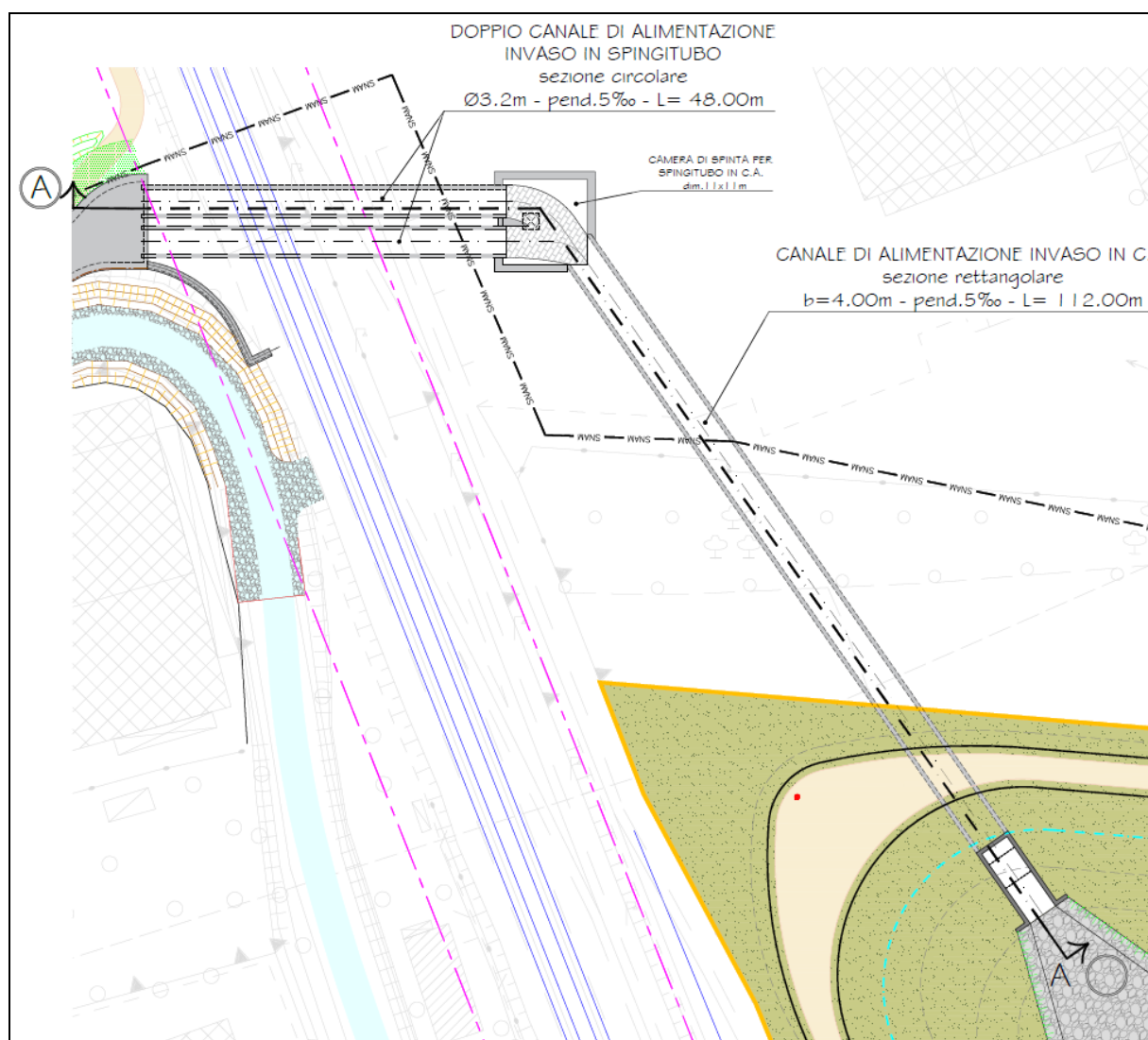
#### 4.6 CANALE DI ALIMENTAZIONE DELL'INVASO

Le portate derivate dal Seveso vengono recapitate nell'invaso di laminazione di Lentate sul Seveso attraverso un canale interrato che svolge anche la funzione di attraversamento della adiacente linea ferroviaria Milano – Como-Chiasso.

Il canale ha una lunghezza di circa 225 m. La quota di fondo in corrispondenza della sezione iniziale (a valle dell'opera di presa del Seveso) è pari a 218.30 m s.m., mentre la quota di fondo nella sezione terminale (ingresso nell'invaso) è pari a 217.20 m s.m..

La pendenza del canale è pari a circa il 5‰.

L'intero canale è previsto interrato, realizzato attraverso manufatti gettati in opera, per consentire il sottopasso della linea ferroviaria Chiasso-Milano e non interferire con le attività svolte nei terreni privati attraversati.



**Figura 31 – Planimetria di progetto del canale di alimentazione dell'invaso**

La sezione del canale è rettangolare, con base pari a 4.0 m ed altezza pari a circa 4.0 m, ad eccezione del tratto al di sotto della linea ferroviaria, dove è prevista la posa, in spingitubo, di due condotti circolari di diametro 3.2 m. 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. Non è stato possibile effettuare l'attraversamento perpendicolarmente alla linea ferroviaria per contenere il raggio di curvatura dei raccordi con la vasca a valle dell'attraversamento ma, come prescritto dalla suddetta normativa, si è mantenuto un angolo sull'orizzontale tra l'asse del canale e l'asse della linea ferroviaria maggiore di 45°.

Il livello idrico che si instaura nella sezione terminale del canale (in corrispondenza del passaggio della massima portata di progetto di 34 m<sup>3</sup>/s, assetto attuale) finché il livello idrico in vasca risulta inferiore a 217.0 m s.m. è pari a circa 1.30 m (altezza critica). Procedendo verso monte il livello tende all'altezza di moto uniforme, pari a circa 2 m (con scabrezza pari a 60 m<sup>1/3</sup>/s). In tali condizioni si verifica che in ogni sezione del canale viene rispettato un franco di sicurezza minimo di circa 1.0 m.

Quando il livello idrico in vasca supera la quota di 217.0 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 220.80 m s.m., al quale corrisponde il completo rigurgito del canale e il raggiungimento della quota di sommità della soglia di sfioro.

#### 4.7 SISTEMA DI SCARICO DEI VOLUMI INVASATI

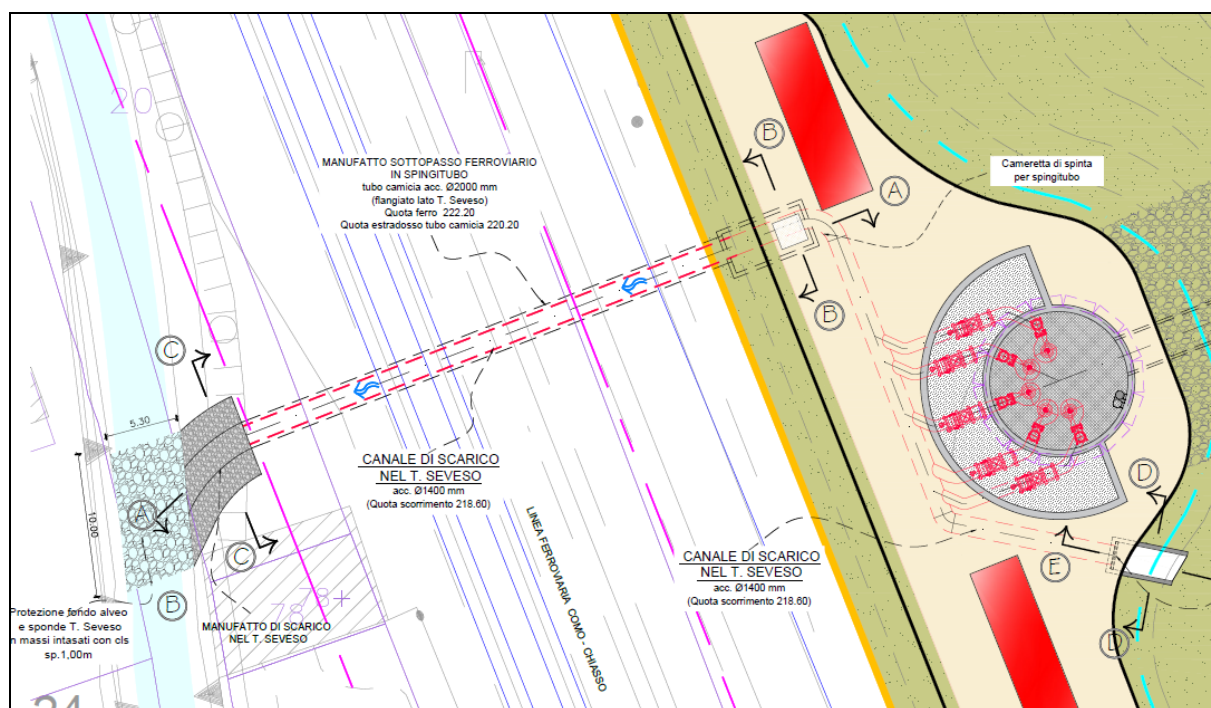
A causa della configurazione del piano campagna e delle quote relative all'alveo del torrente Seveso, la vasca di laminazione di Lentate sul Seveso è realizzata per la quasi totalità in scavo con fondo a quote fino a circa 19.0 m inferiori rispetto al piano campagna e 17 m rispetto a quelle dell'alveo del Seveso. Per tale motivazione, i volumi in essa invasati vengono scaricati al termine dell'evento di piena prevalentemente per sollevamento meccanico, mentre una parte più contenuta viene scaricata a gravità. In particolare, le modalità di scarico sono le seguenti:

- *Svuotamento a gravità*: viene effettuato per la porzione di volume di invaso compreso tra la quota di massima regolazione, pari a 220.80 m s.m., fino alla quota di fondo del



manufatto di scarico a gravità, pari a 218.80 m s.m.; il volume invasato tra tali due quote è pari a circa 130'000 m<sup>3</sup>, che corrisponde al 16% del volume di invaso disponibile;

- *Svuotamento per sollevamento meccanico*: quando il livello idrico all'interno dell'invaso è prossimo a 218.80 m s.m., siccome la portata scaricata a gravità è praticamente nulla (livello nell'invaso prossimo al livello idrico nel T. Seveso), per proseguire con lo svuotamento dell'invaso vengono azionate le pompe poste sul fondo della stazione di sollevamento; l'uso delle elettropompe sommerse consente di svuotare la porzione di invaso di laminazione posta tra la quota 218.80 m s.m. e il fondo, pari a 200.80 m s.m.. Il volume che deve essere per sollevamento è pari a circa 678'000 m<sup>3</sup> (84% del volume di invaso totale).



**Figura 32 – Stralcio della planimetria della vasca di laminazione di Lentate sul Seveso con indicazione del sollevamento meccanico e delle opere di scarico**

La stazione di sollevamento verrà realizzata lungo il lato occidentale della vasca di laminazione ove il torrente Seveso scorre a poche decine di metri dal limite della vasca. Il fondo del sollevamento è stato posto alla quota di 200.80 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. Si è scelto quindi di installare n.5 pompe (delle quali una con funzione di riserva) caratterizzate da una portata massima allontanabile di 1450 l/s ciascuna.

Le condotte di mandata sono in acciaio DN800 e, giunte alla quota 218.60 m s.m., appena all'esterno della stazione di sollevamento, convergono in una condotta DN1400 sempre in acciaio. Questa, avente una pendenza del 2‰, dopo aver effettuato l'attraversamento perpendicolare della linea ferroviaria Chiasso-Milano, recapita le portate sollevate nel torrente Seveso attraverso un manufatto di scarico che le convoglia indirizzandole 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 spingitubo verrà effettuato con una tubazione DN2000 in acciaio che svolgerà la funzione di tubo-camicia della tubazione di mandata DN1400.

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.

### Scarico a gravità

Lo scarico a gravità è previsto mediante un breve tronco di tubazione circolare in acciaio DN 1400 mm che collega l'invaso alla sopracitata condotta DN 1400 mm di mandata/scarico del sollevamento. La presa dall'invaso è costituita da un manufatto in c.a. di sezione 2,0 x 2,0 m con quota di scorrimento di 218,80 m s.m.. La quota di scorrimento della tubazione di scarico in corrispondenza dello scarico nel T. Seveso è pari a 218.60 m s.m., mentre la quota di fondo del T. Seveso è pari a 218.40 m s.m.. La tubazione di scarico è lunga 80 m, per cui la pendenza è pari a 2.5 per mille.

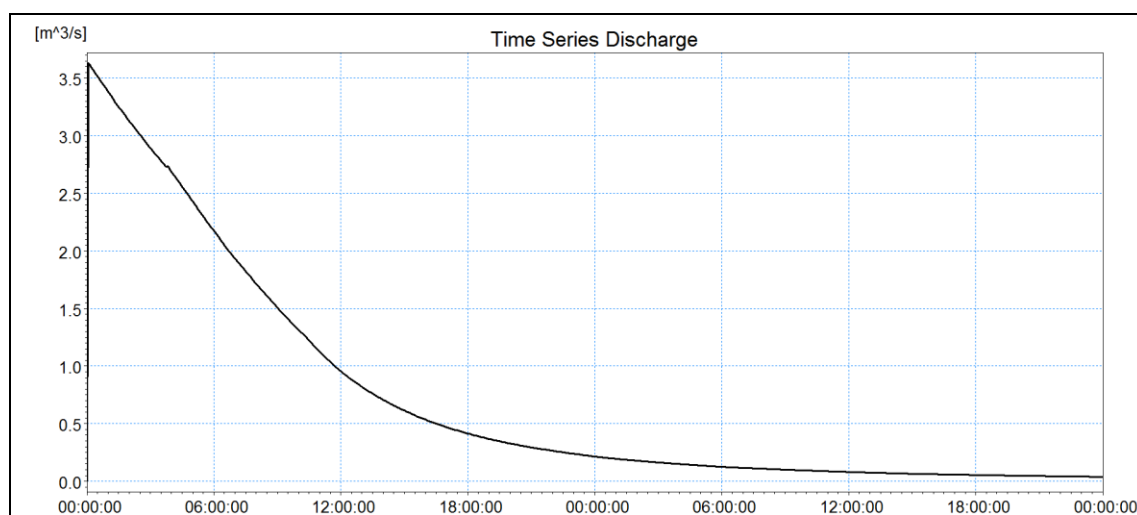
Per evitare che le acque del T. Seveso possano rientrare nella tubazione di scarico,

quest'ultima è munita di un clapet in acciaio inox ubicato a valle dell'attraversamento ferroviario.

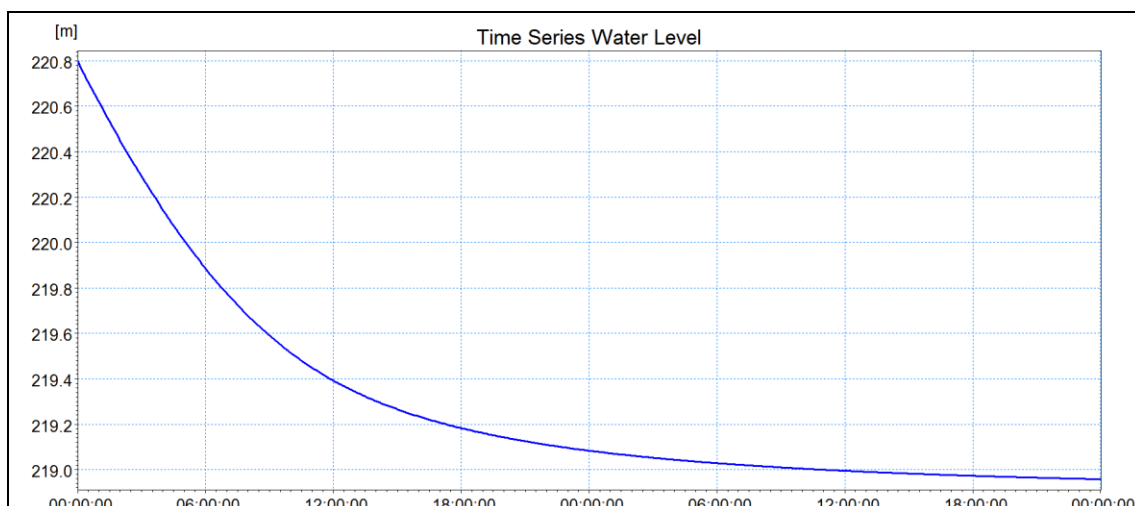
Tra il manufatto di imbocco dello scarico a gravità e la tubazione DN1400 è posta una paratoia a strisciamento di dimensioni 2x2 m, con tenuta sui 4 lati in entrambi i sensi. La paratoia è normalmente chiusa; quando si deve procedere allo svuotamento a gravità dell'invaso, la paratoia viene aperta. Non appena termina la fase di svuotamento a gravità e prima di azionare le pompe, occorre chiudere la paratoia per impedire che la portata immessa nella tubazione DN1400 dalle mandate DN800 delle singole pompe possa defluire nell'invaso attraverso il manufatto di imbocco dello scarico a gravità.

Per avere all'interno della tubazione DN1400 un adeguato franco di sicurezza durante la fase di svuotamento a gravità (almeno 20 cm con carico idraulico massimo a monte), la portata massima di progetto dello scarico di fondo è assunta pari a  $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ , per tale funzionamento a pelo libero. In corrispondenza del livello di massima regolazione di 220.80 m s.m., con il quale si determina un tirante idrico di 2 m rispetto al fondo di scorrimento del manufatto di scarico, la suddetta portata si ottiene con un'apertura della paratoia pari a 0,5 m.

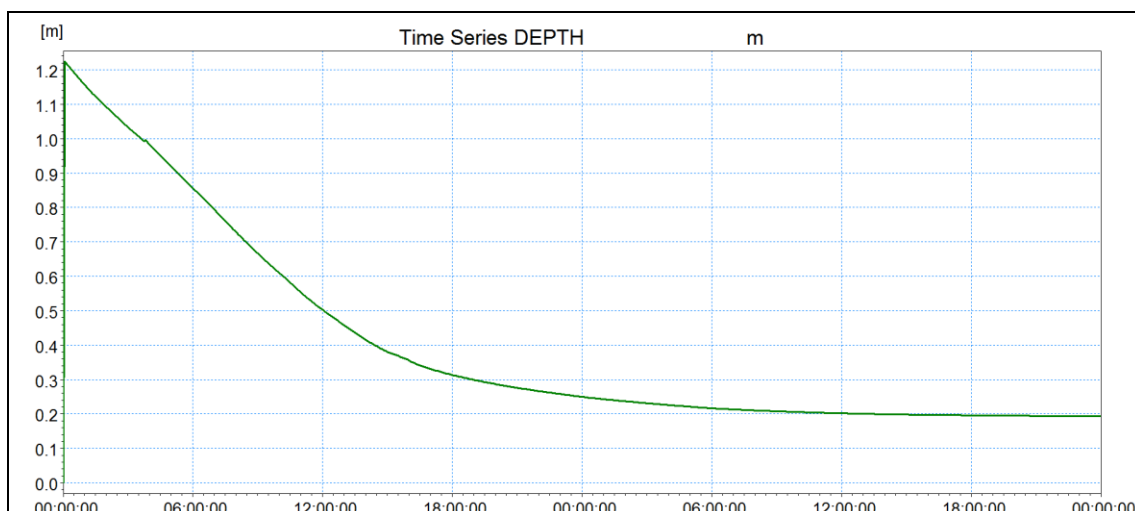
Di seguito si riportano i principali risultati durante la fase di la fase di svuotamento a gravità, in particolare: portata scaricata, livello all'interno dell'invaso, tirante all'interno della tubazione DN1400.



**Figura 33 – Andamento della portata di scarico durante la fase di svuotamento dell'invaso a gravità**



**Figura 34 – Andamento del livello idrico dell’invaso durante la fase di svuotamento a gravità**



**Figura 35 – Andamento del tirante idrico in condotta durante la fase di svuotamento dell’invaso a gravità**

Come si vede dai risultati sopra riportati, il tempo necessario per lo svuotamento quasi completo della porzione dell’invaso scaricabile a gravità (livello pari a 219.1 m s.m., pari a 30 cm rispetto al fondo del manufatto di scarico) è pari a circa 24 ore.

Terminata la fase di svuotamento dell’invaso a gravità, prima di azionare le pompe, occorre chiudere la paratoia PA04, posta nell’imbocco del manufatto di scarico.

### Scarico per sollevamento meccanico

La porzione di volume che deve essere svuotata per sollevamento viene immessa nella suddetta tubazione di scarico DN1400, attraverso le prima citate pompe sommergibili.



Le pompe di sollevamento (elettropompa sommergibile centrifuga) previste in progetto sono 4+1 e hanno le seguenti caratteristiche tecniche principali

DP (ISO9906 Cl.1B) a giri variabili:

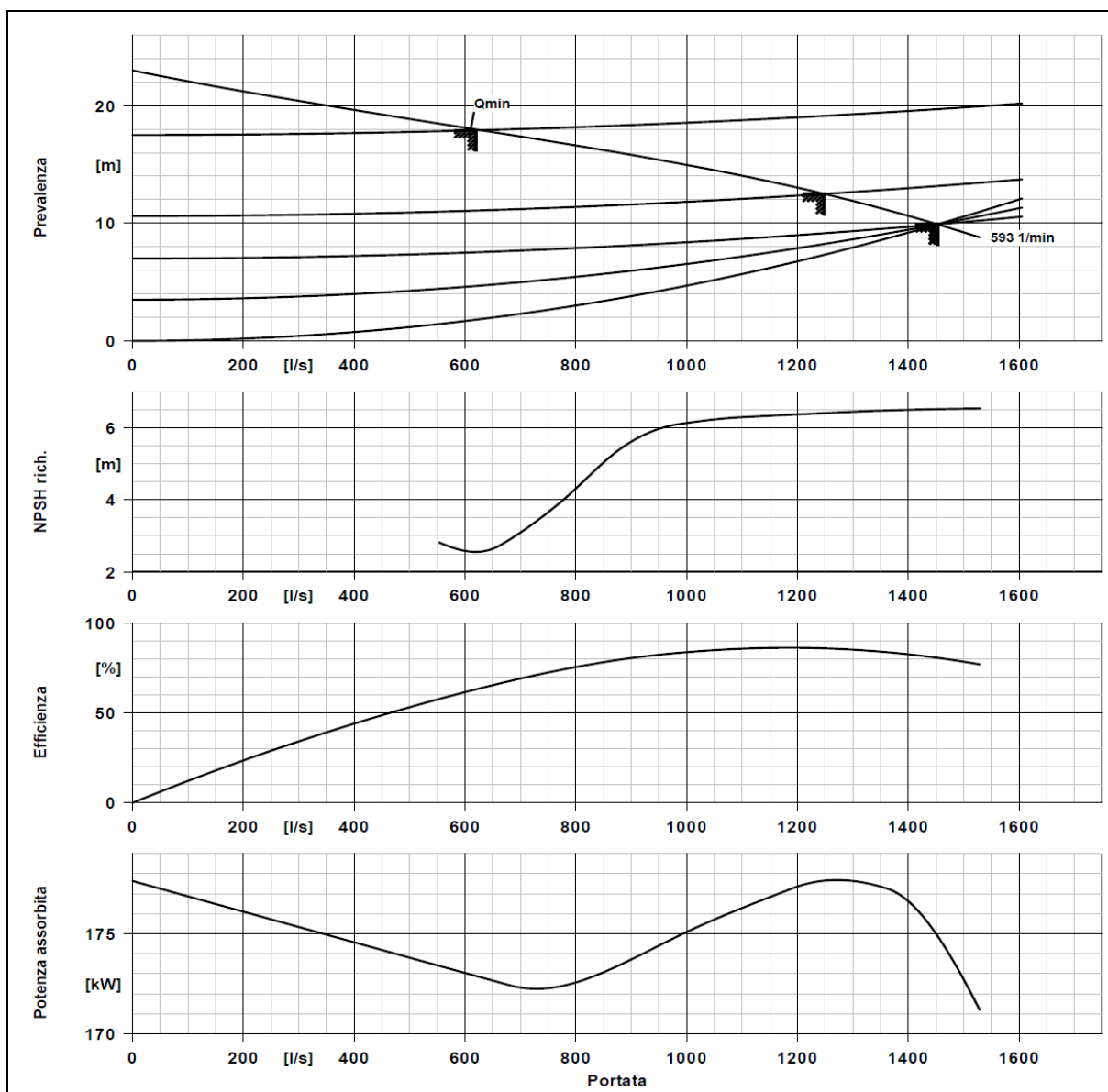
Portata [l/s]:	1450	1250	620
Prevalenza [m]:	9.9	12.5	17.9
Efficienza [%]:	63.8	85.8	80.5
Potenza installata [kW]:	190.00		

I valori sopra riportati variano in funzione del livello idrico all'interno del pozzo.

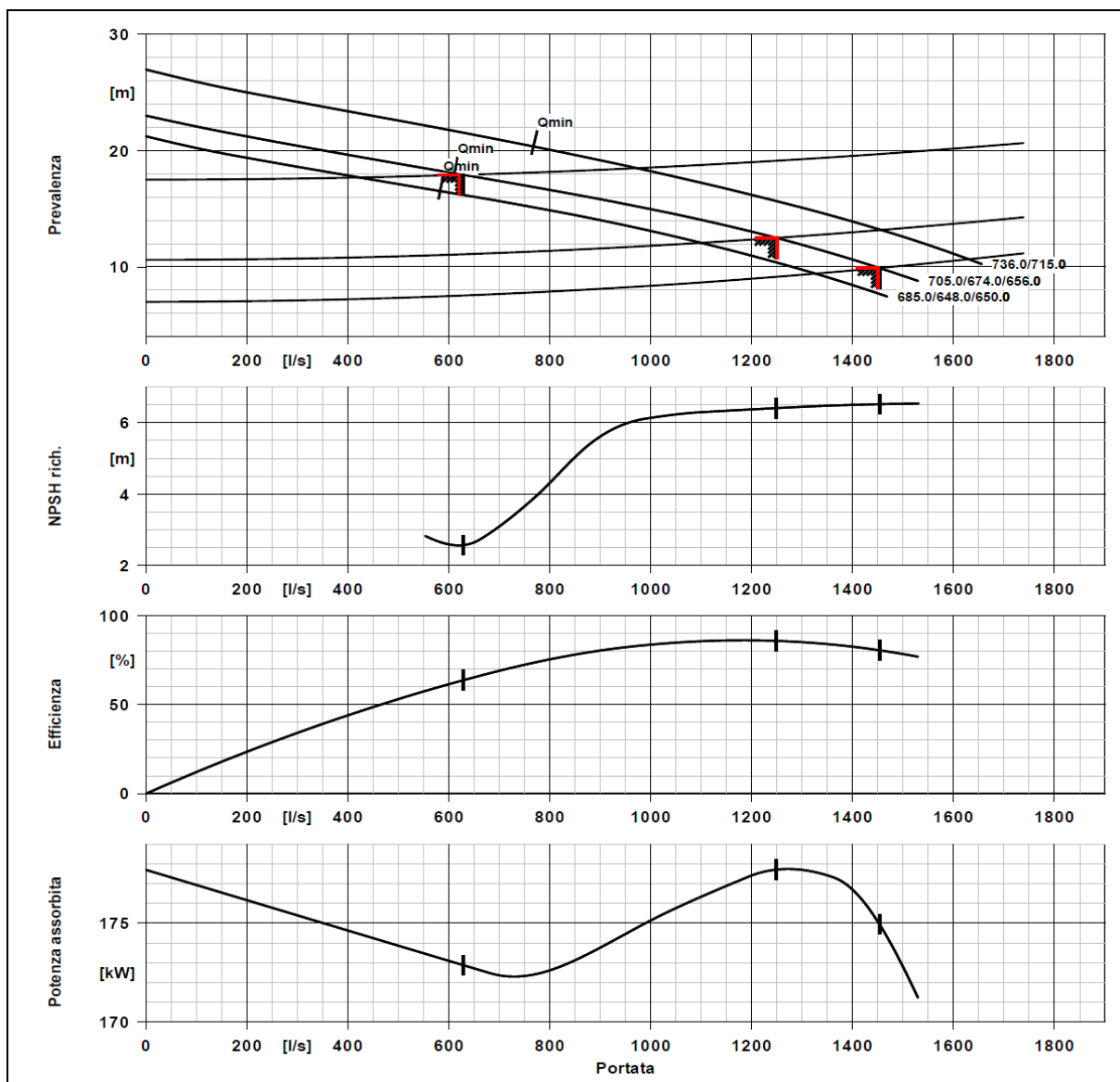
Le pompe possono avere un funzionamento a giri fissi con l'utilizzo di una valvola a farfalla motorizzata per regolare le perdite di carico nel campo di funzionamento definito da dislivelli geodetici compresi tra 0 e 7, partendo con angolo minimo di apertura 35° (per dislivelli geodetici tra invaso e scarico in Seveso pari a 0), per arrivare alla completa apertura per dislivelli geodetici pari a 7 m.

Le pompe sono altresì dotate di inverter, per cui la fase di svuotamento può anche essere effettuata regolando le velocità di rotazione delle giranti, ottimizzando il funzionamento delle pompe al variare del livello idrico nell'invaso.

Di seguito si riportano le curve caratteristiche delle pompe nell'ipotesi di funzionamento a giri fissi con variazione dell'apertura della valvola a farfalla di regolazione.



**Figura 36 – Curva caratteristica della pompa nel campo delle prevalenze geodetiche tra 0 e 7 m**



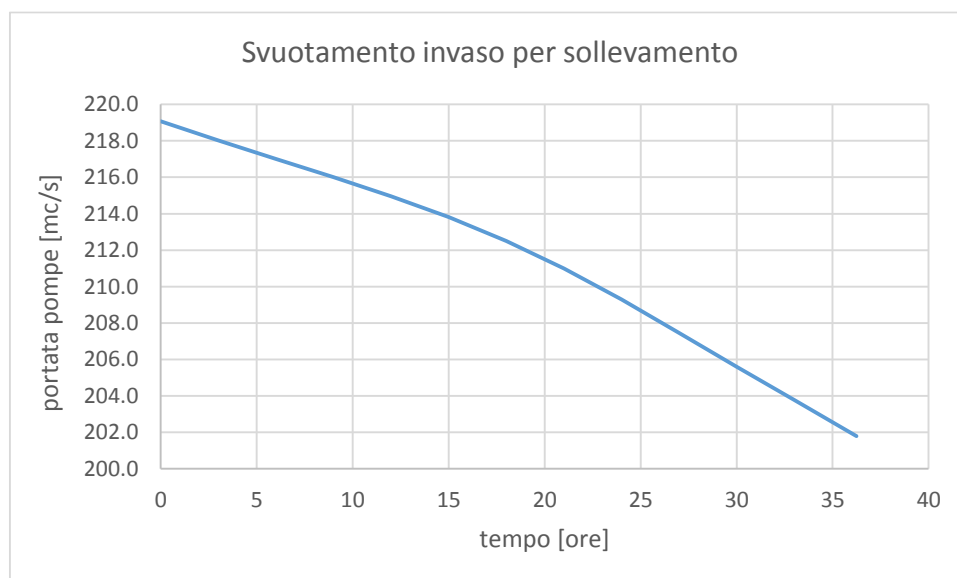
**Figura 37 – Curva caratteristica della pompa nel campo delle prevalenze geodetiche tra 7 e 17.5 m (quota scarico 218.60 m s.m. + asse tubazione premente 0.7 m – quota fondo invaso 201.80 m s.m.)**

A ciascuna pompa è collegata una tubazione di mandata DN800 mm, che si collega alla tubazione DN1400, che dopo aver sottopassato la linea ferroviaria giunge in corrispondenza del T. Seveso.

Per valutare il tempo necessario a svuotare mediante le suddette pompe la porzione di invaso compreso tra le quote 219,10 m s.m. e 201,80 m s.m., occorre considerare la portata delle pompe in funzione del carico idraulico e delle perdite distribuite e concentrate lungo l'impianto di sollevamento.

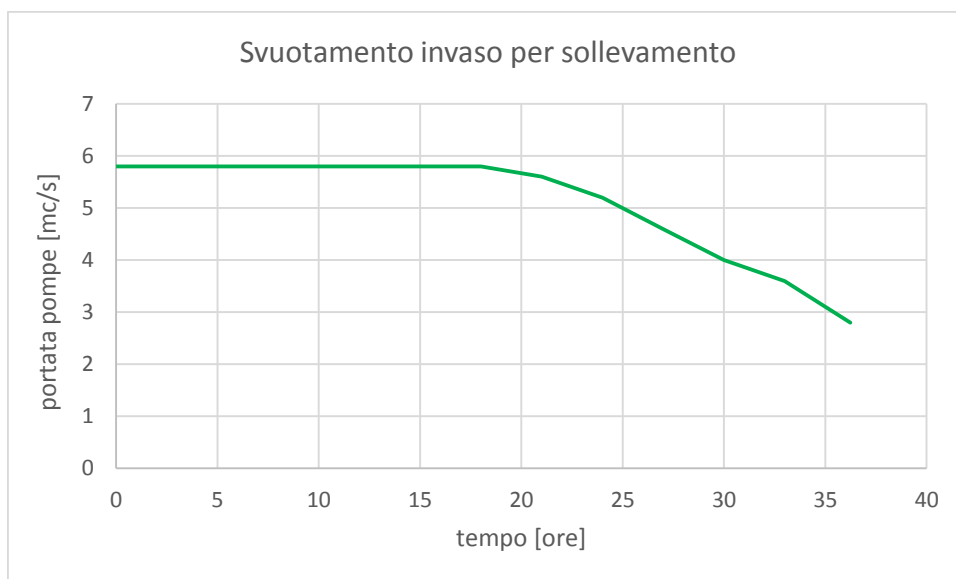
t (ore) mediante sollevamento	Livello (m s.m.)	Prevalenza pompe (geodetica + perdite di carico)	Q sollevata da 4 pompe (mc/s)	Volume invaso (mc)
0	219.1	10	5.8	690000
3	218.0	10	5.8	627360
6	217.0	10	5.8	564720
9	216.0	10	5.8	502080
12	215.0	10	5.8	439440
15	213.8	10	5.8	376800
18	212.5	10	5.8	314160
21	211.0	11	5.6	251520
24	209.3	12	5.2	191040
27	207.5	14	4.6	134880
30	205.6	15	4	85200
33	203.8	16	3.6	42000
36.24	201.8	17.5	2.8	9.6

Di seguito si riporta il grafico relativo all'andamento in funzione del tempo della portata di scarico, del livello idrico e del volume invasato all'interno dell'invaso. Il tempo complessivo per svuotare l'invaso è pari pertanto a circa 60 ore, di cui 24 ore a gravità e 36 ore per sollevamento. Pertanto, la portata media di svuotamento del sistema è pari a 3.7 m<sup>3</sup>/s.

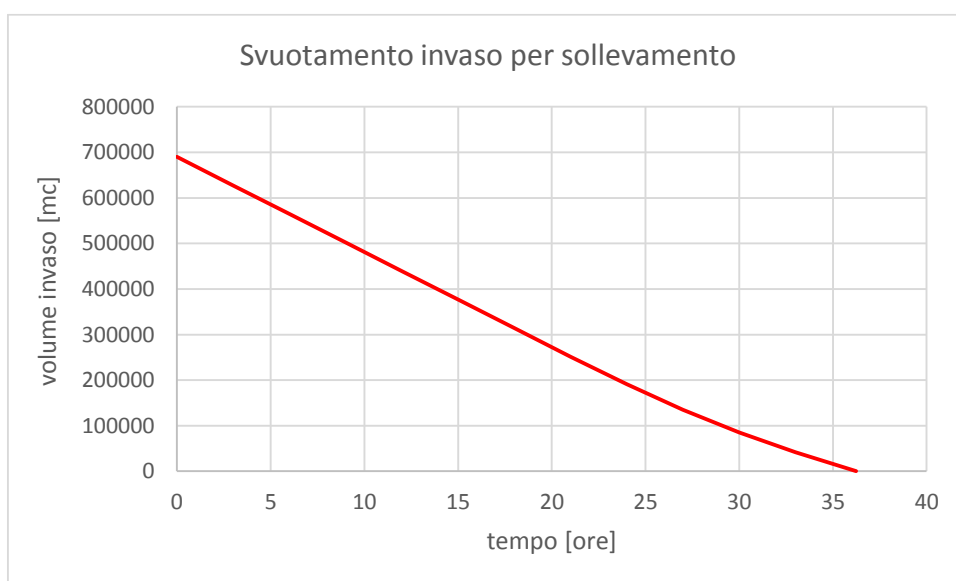


**Figura 38 – Andamento del livello idrico dell'invaso durante la fase di svuotamento per sollevamento**





**Figura 39 – Andamento della portata di scarico durante la fase di svuotamento per sollevamento**



**Figura 40 – Andamento del volume di invaso durante la fase di svuotamento per sollevamento**

Per lo svuotamento del 75% dell'invaso, pari a 606'000 m<sup>3</sup> (invaso residuo pari a 202'000 m<sup>3</sup>), occorrono 2 giorni (48 ore), che è inferiore ai 3 giorni richiesti dal RID.

## 5. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO AFFERENTE ALL'AREA DI LAMINAZIONE GOLENALE

### 5.1 GENERALITÀ

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico dell'area di laminazione golenale sono le seguenti (per una descrizione più dettagliata si rimanda alla “*Relazione tecnica descrittiva delle opere in progetto*”, elaborato A.2):

- area di laminazione fuori linea rispetto al T. Seveso, caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo di circa 20'000 m<sup>3</sup>;
- opera di presa dal T. Seveso realizzata attraverso una soglia di sfioro laterale lunga 30 m con quota in sommità pari a 227.10 m s.m.;
- canale di scarico dell'invaso, a sezione rettangolare 1.00x1.00 m, di lunghezza pari a circa 16 m, con pendenza di fondo pari al 1.5%, munito di una paratoia di regolazione posta in corrispondenza della sezione di monte.

Nei seguenti paragrafi vengono descritti i dimensionamenti idraulici effettuati per le diverse opere che costituiscono il sistema idraulico dell'area di laminazione golenale in progetto.

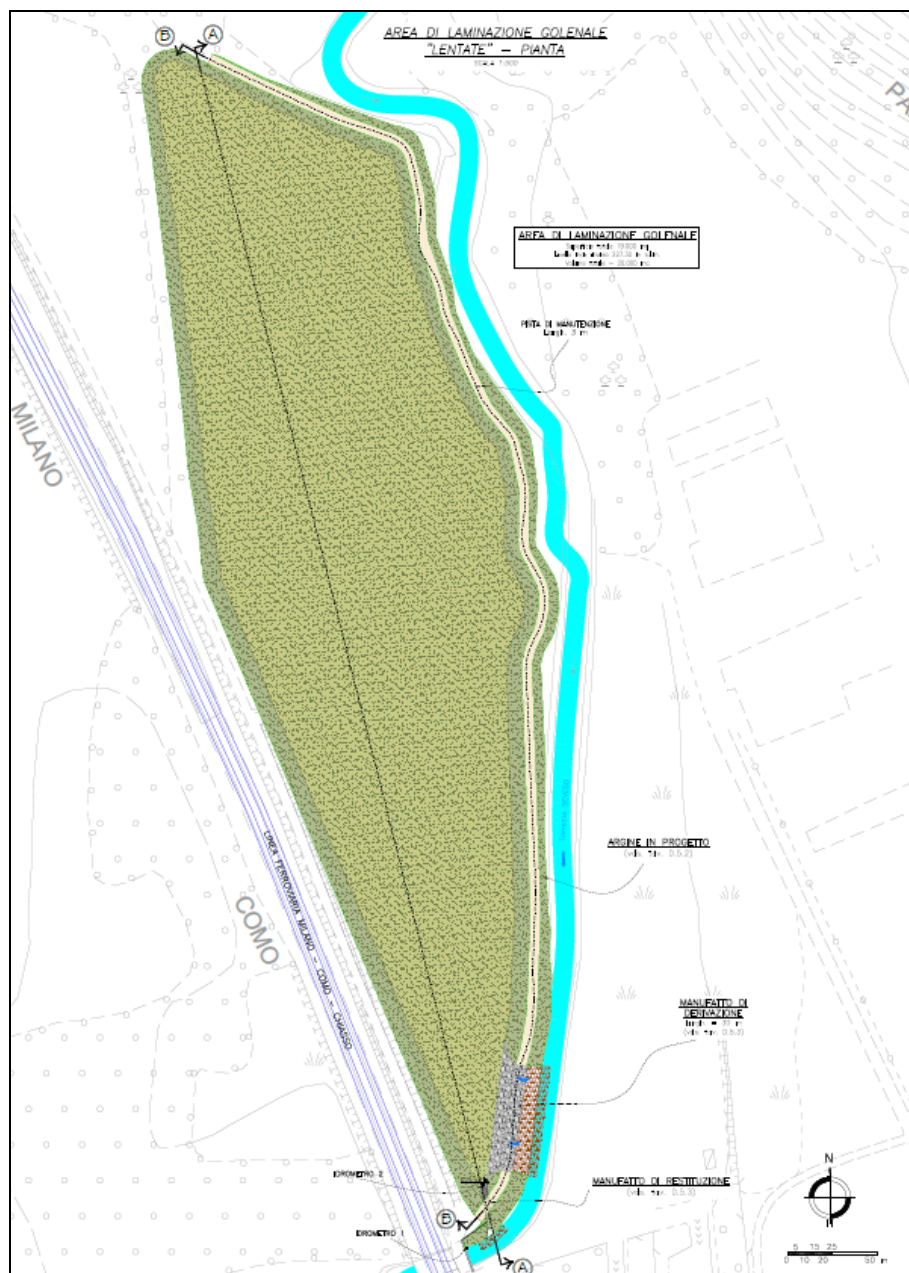
### 5.2 INVASO DI LAMINAZIONE

L'opera di laminazione, come già detto in precedenza, è caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo pari a circa 20'000 m<sup>3</sup> alla quota di massima regolazione di 227.10 m s.m.

Nella Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche geometriche dell'opera di laminazione in progetto.

**Tabella 4 – Caratteristiche dell'area di laminazione golenale**

Volume di invaso [m <sup>3</sup> ]	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 <sup>2</sup> ]
20'000	227 ÷ 225	227.10	228.3 ÷ 229.30	16'300



**Figura 41 – Planimetria di progetto dell’invaso di laminazione in scavo di Lentate sul Seveso**

### 5.3 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 paramenti rivestiti in massi, con il ciglio posto alla quota di 227.10 m s.m., avente una lunghezza pari a 30 m. In corrispondenza dello sfioratore il Seveso è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 224.00 m s.m., per cui l’altezza della soglia di sfioro sul fondo alveo è pari a 3.1 m.

Il livello di riferimento della piena centennale del T. Seveso è pari a 227.30 m s.m.

La legge di efflusso che governa lo sfioratore è:

$$Q = \mu L h (2 g h)^{0.5}$$

dove

$Q$  è la portata defluente attraverso la soglia di sfioro [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

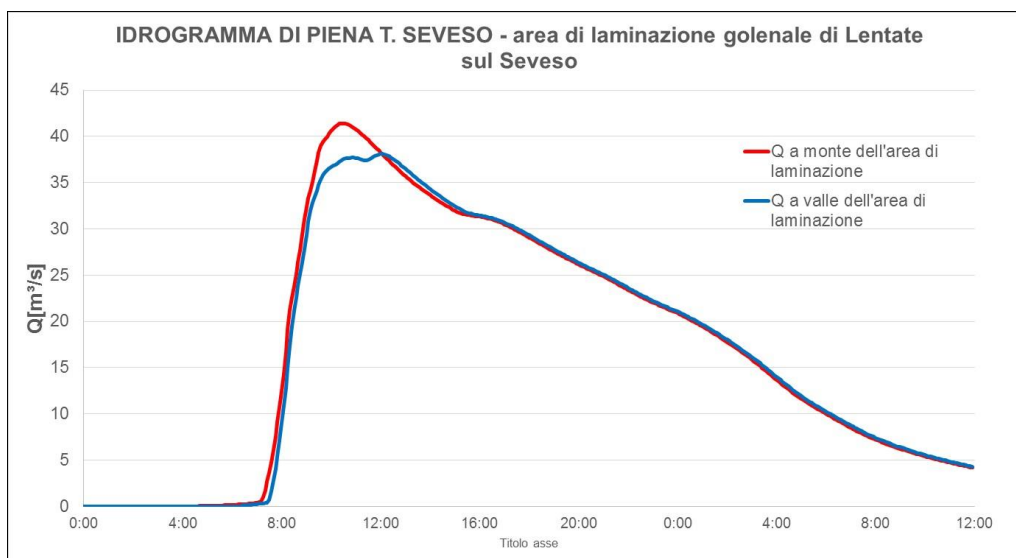
$\mu$  è il coefficiente di efflusso sulla soglia di sfioro pari a 0,385 (soglia di sfioro a larga soglia);

$h$  è il tirante idrico al di sopra della soglia di sfioro [m];

$L$  è la lunghezza dello sfioratore di emergenza [m].

Per un valore di  $h$  pari a 0.2 m (227.30 – 227.10) si ha che la portata al di sopra della soglia di sfioro è pari a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Nella Figura 42 sono rappresentati gli idrogrammi di piena per tempo di ritorno pari a 100 anni nell'assetto di progetto, a monte e a valle dell'area di laminazione, da cui si evince che la differenza tra le due portate di picco è pari a circa  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ .



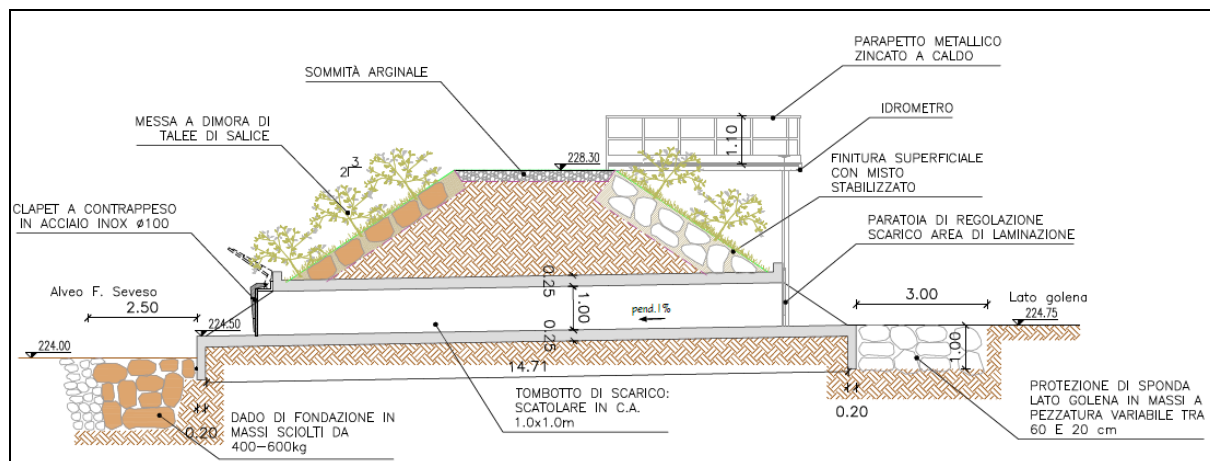
**Figura 42 – Idrogramma di piena a monte e a valle dell'area di laminazione golenale**

#### 5.4 SCARICO DI FONDO DELL'INVASO

Lo scarico di fondo dell'invaso è costituito da un canale scatolare in c.a. di dimensioni trasversali pari a 1,0 x 1,0 m con quota di scorrimento di monte pari a 224.75 m s.m. e quota di scorrimento di valle pari a 224,5 m s.m. in corrispondenza dello sbocco terminale nel T. Seveso. Essendo pari a 16 m la lunghezza dello scatolare, la pendenza dello stesso è pari a

1.5%.

Nella sezione di monte del canale è posta una paratoia di regolazione. La paratoia, ad azionamento manuale, ha dimensioni di 1 x 1 m, ed è normalmente chiusa. Solo in seguito ad un evento di piena che abbia interessato l'area di laminazione, si provvederà ad alzare la paratoia al fine di consentire lo svuotamento dell'invaso.



**Figura 43 – Sezione di progetto del canale di scarico dell'invaso**

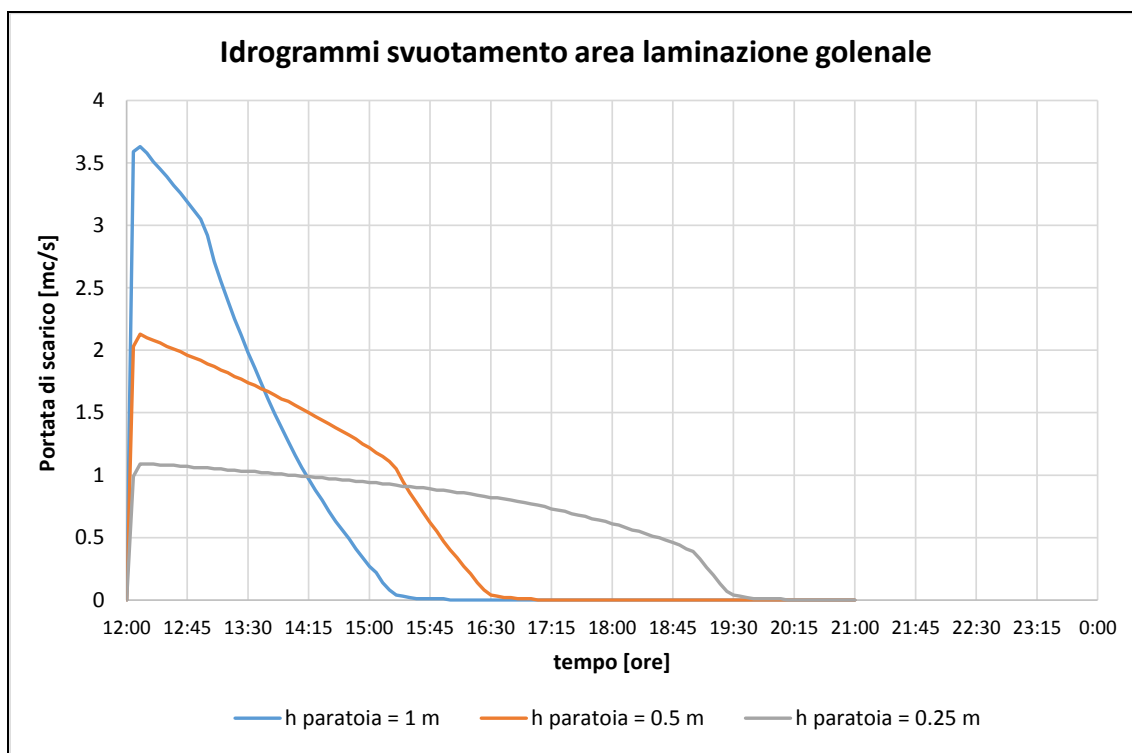
La portata dello scarico di fondo ed il conseguente tempo di svuotamento dell'invaso, dipendono dal grado di apertura della paratoia.

Di seguito (Figura 44 e Figura 45) si riportano i risultati relativi a tre differenti gradi di apertura della paratoia di regolazione, pari rispettivamente a 1 m, 0.5 m e 0.25 m. Ovviamente all'aumentare dell'altezza dell'apertura, aumenta la portata e diminuisce il tempo necessario al completo svuotamento dell'area di laminazione.

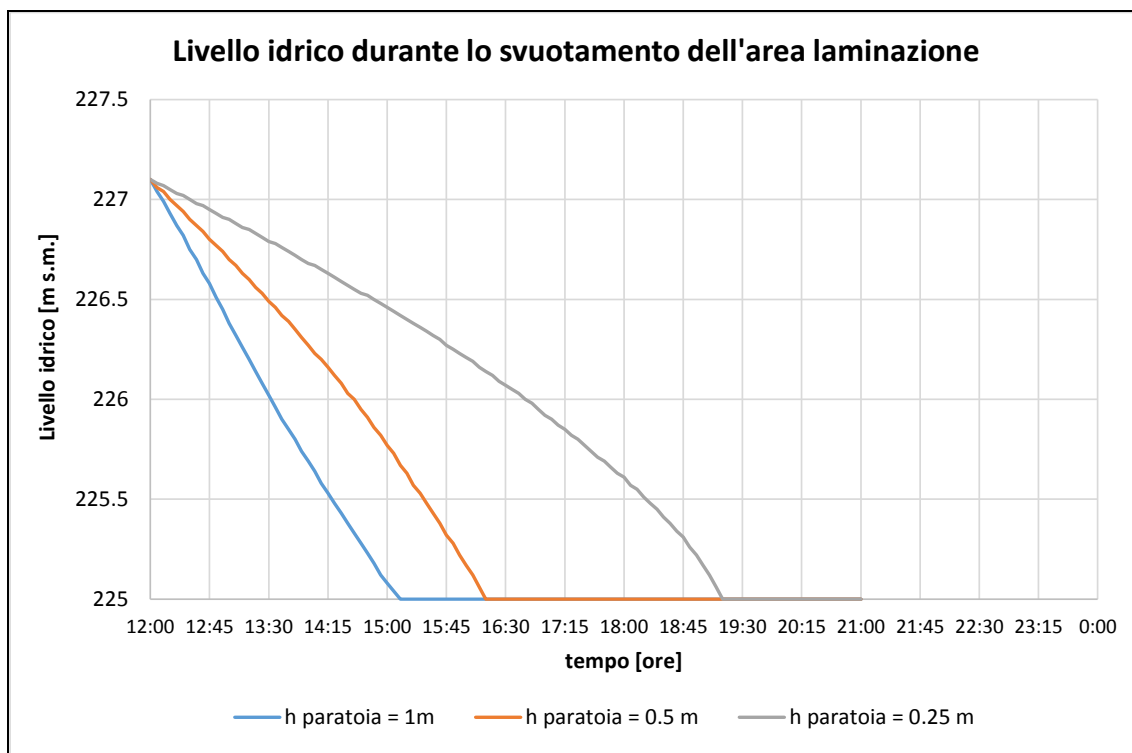
I risultati tengono conto di una portata in Seveso pari a  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si osserva che la portata al picco varia da  $3.6$  a  $1.1 \text{ m}^3/\text{s}$  e il tempo necessario allo svuotamento dell'intero invaso varia da 3 a 7 ore.





**Figura 44 – Idrogramma di svuotamento dell'invaso al variare del grado di apertura della paratoia di regolazione**



**Figura 45 – andamento dei livelli nella fase di svuotamento dell'invaso al variare del grado di apertura della paratoia di regolazione**

## 6. FREQUENZA DI UTILIZZO DELLA VASCA DI LAMINAZIONE IN SCAVO DI LENTATE

Nel presente capitolo vengono esposte le analisi effettuate allo scopo di definire la frequenza dei processi di invaso di tale invaso, ipotizzato, in via cautelativa, la sola presenza dell'invaso di laminazione in progetto, quindi in assenza delle altre opere di laminazione previste a monte.

Le modellazioni qui esposte sono state effettuate sulla base sia di eventi reali che di eventi di riferimento progettuale per diversi tempi di ritorno. Tali simulazioni sono state impostate con l'utilizzo del modello idrologico-idraulico del T. Seveso tarato con alcuni eventi reali.

Le simulazioni effettuate sugli eventi reali consentono di analizzare il comportamento dell'opera con riferimento agli eventi verificatisi in un determinato periodo, ma non consentono di attribuire un valore probabilistico all'evento volta per volta preso in considerazione.

Al contrario, le simulazioni impostate sulla ricostruzione modellistica di eventi di riferimento progettuale per diversi tempi di ritorno consentono di esaminare il comportamento delle opere in eventi "teorici", quindi privi della variabilità tipica degli eventi reali, ma correlati alla scala probabilistica di rischio.

Si ritiene pertanto che i risultati ottenuti e qui presentati con entrambe queste metodologie offrano un quadro abbastanza esauriente della frequenza di invaso della vasca di Senago e dei benefici che la stessa può determinare.

### 6.1 ANALISI EVENTI REALI

L'analisi degli eventi reali è stata effettuata considerando quelli verificatisi negli ultimi anni (dal 2010 al 2015), di cui si dispone dei dati necessari per la ricostruzione idrologica, i quali sono stati caratterizzati da un notevole numero di eventi meteorici che hanno causato numerose esondazioni in Comune di Milano, in particolare:

- 2010 (n. 8 esondazioni): 3 maggio, 14 maggio, 23 luglio, 5 agosto, 12 agosto, 18 settembre, 1 novembre, 16 novembre;
- 2011 (n. 2 esondazioni): 27 maggio, 6 agosto;
- 2012 (n. 1 esondazione): 12 settembre;
- 2013 (n. 1 esondazione): 23 ottobre;
- 2014 (n. 8 esondazioni): 25 giugno, 8 luglio, 26 luglio, 29 luglio, 3 agosto, 20 agosto,

12 novembre e 15 novembre.

Si tratta di un periodo esteso e rappresentativo della varietà degli eventi di piena che si formano nel Seveso, dal momento che in esso sono compresi, accanto ad eventi di modesta importanza, anche eventi molto rilevanti come quelli del 18 settembre 2010, 8 luglio 2014, 12 e 15 novembre 2015 che hanno determinato gravissimi allagamenti e danni a Milano.

Per l'analisi degli eventi reali si è seguita la seguente procedura:

- per l'intero periodo 2010 ÷ 2015 si è ricostruito l'andamento delle portate del T. Seveso in prossimità dell'opera di laminazione in progetto, utilizzando il più volte citato modello idrologico-idraulico del T. Seveso, implementato nell'ambito dello Studio-AIPo-2011 e tarato con tali eventi, di cui si disponeva sia delle misure di precipitazione in n. 5 pluviometri (Como, Vertemate con Minoprio, Cantù Asnago, Mariano Comense e Parco Nord) sia delle altezze idrometriche in corrispondenza di n. 2 idrometri (Cantù Asnago, Cesano Maderno);
- gli idrogrammi così ottenuti per l'intero periodo sono stati utilizzati per valutare il funzionamento dell'opera di laminazione in progetto (nell'assetto che prevede l'assenza delle altre opere di laminazione in progetto a monte di quella in esame), in termini di numero di eventi, volume invasato, tempo di permanenza dell'acqua all'interno dell'invaso. Ovviamente, con la presenza delle altre opere di laminazione previste a monte nell'assetto di progetto complessivo del T. Seveso, l'invaso di laminazione sarebbe interessato in misura inferiore.

Di seguito si riportano gli idrogrammi simulati nell'intero periodo 2010 ÷ 2015 e i risultati in termini di eventi che hanno interessato l'invaso, il volume laminato, la durata dell'evento di invasato, il periodo di permanenza dell'acqua all'interno della vasca (si è ipotizzato che fino a quando la portata nel T. Seveso è superiore a 10 mc/s non si procede allo svuotamento dell'invaso), la durata delle operazioni di svuotamento (considerando un valore della sopra indicata portata media di scarico pari a 3.7 m<sup>3</sup>/s) e il tempo complessivo. Nella tabella sono evidenziati in grigio gli eventi in cui si sono verificate esondazioni, soprattutto con riferimento a Milano.

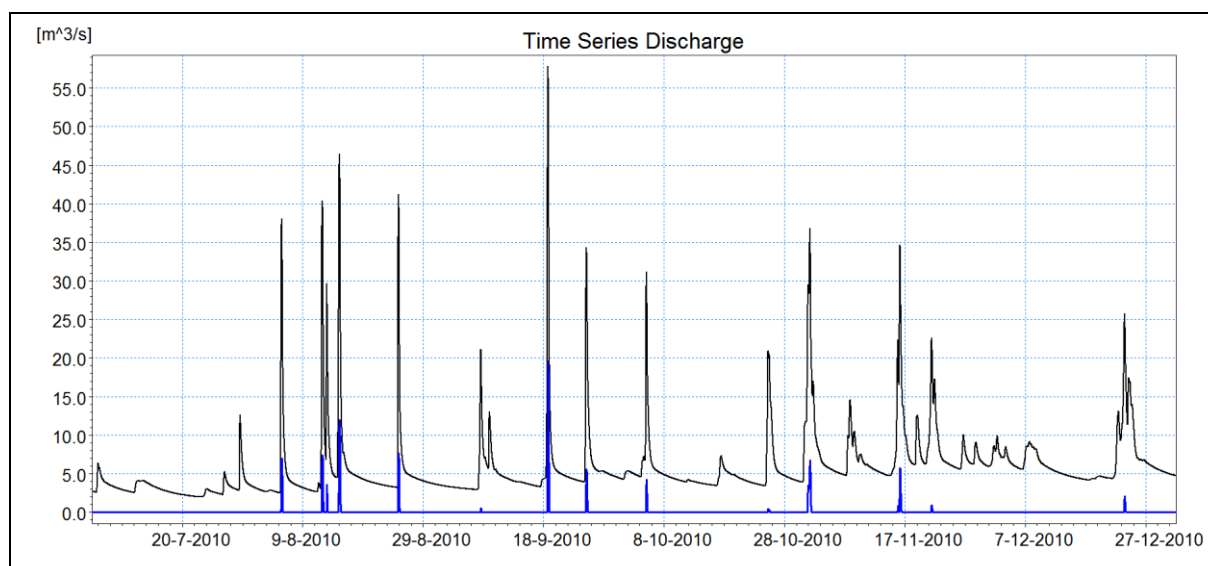
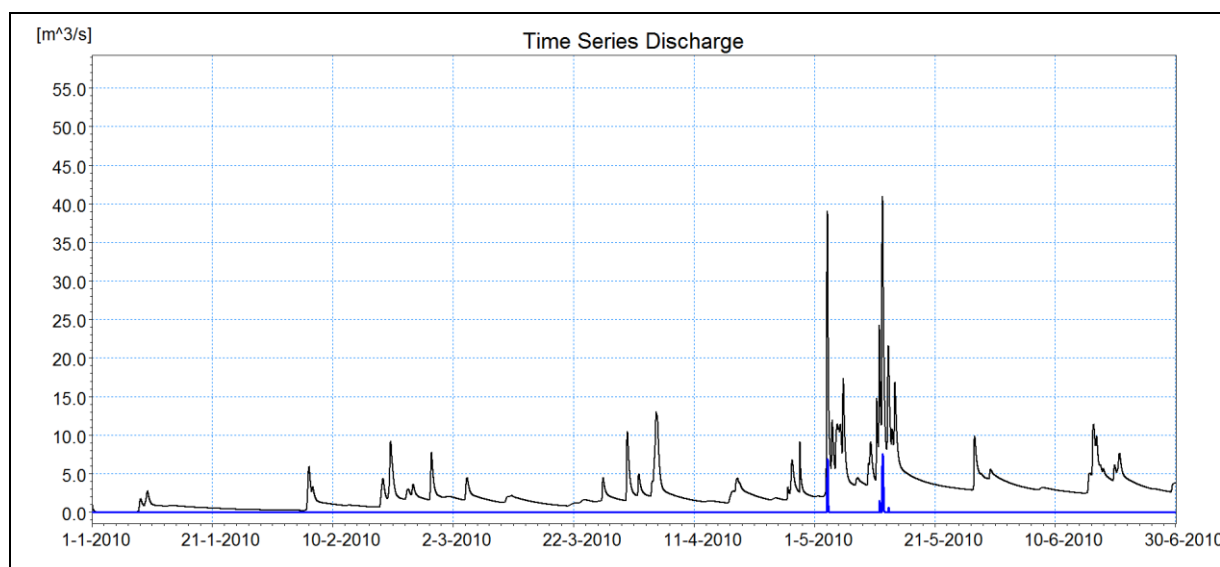


Figura 46 – Idrogrammi T. Seveso - 2010 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
03/05/2010	107'000	7	4	8	19
12/05/2010	164'000	20	12	12	44
05/08/2010	114'000	8	4	9	21
12/08/2010	167'000	12	12	13	37
15/08/2010	225'000	10	6	17	33
25/08/2010	112'000	7	4	8	19
18/09/2010	343'000	10	6	26	42
25/09/2010	93'000	8	6	7	21
05/10/2010	50'000	6	6	4	16
01/11/2010	196'000	17	4	15	36
16/11/2010	102'000	16	13	8	37
23/12/2010	28'000	8	8	35	51
<b>totale</b>	<b>1'701'000</b>	<b>129</b>	<b>85</b>	<b>161</b>	<b>375</b>
				<b>giorni</b>	<b>16</b>

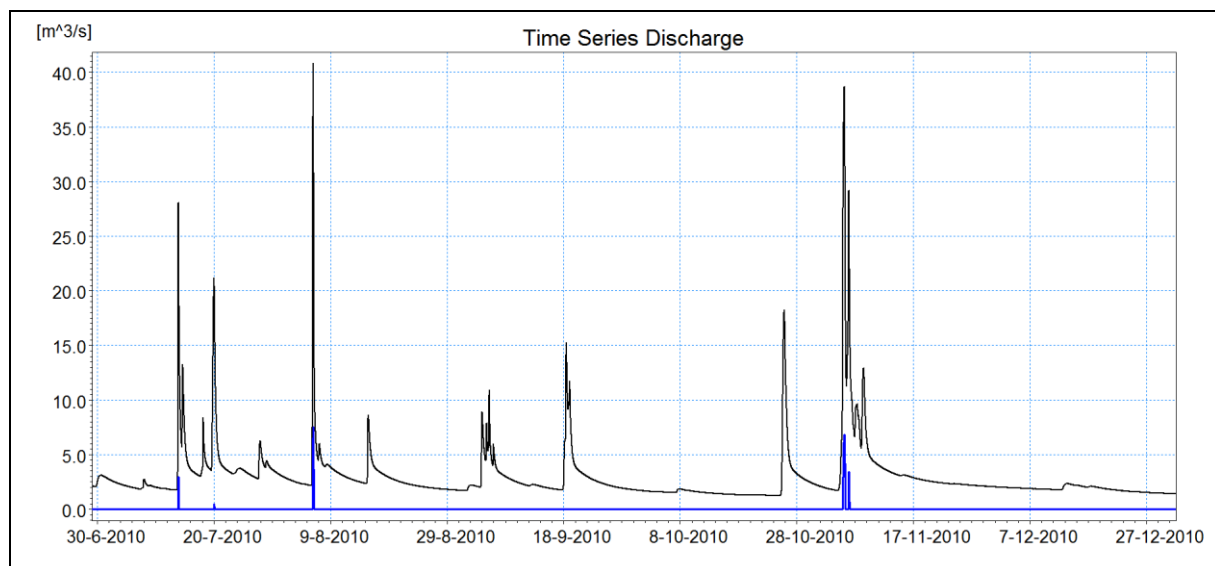
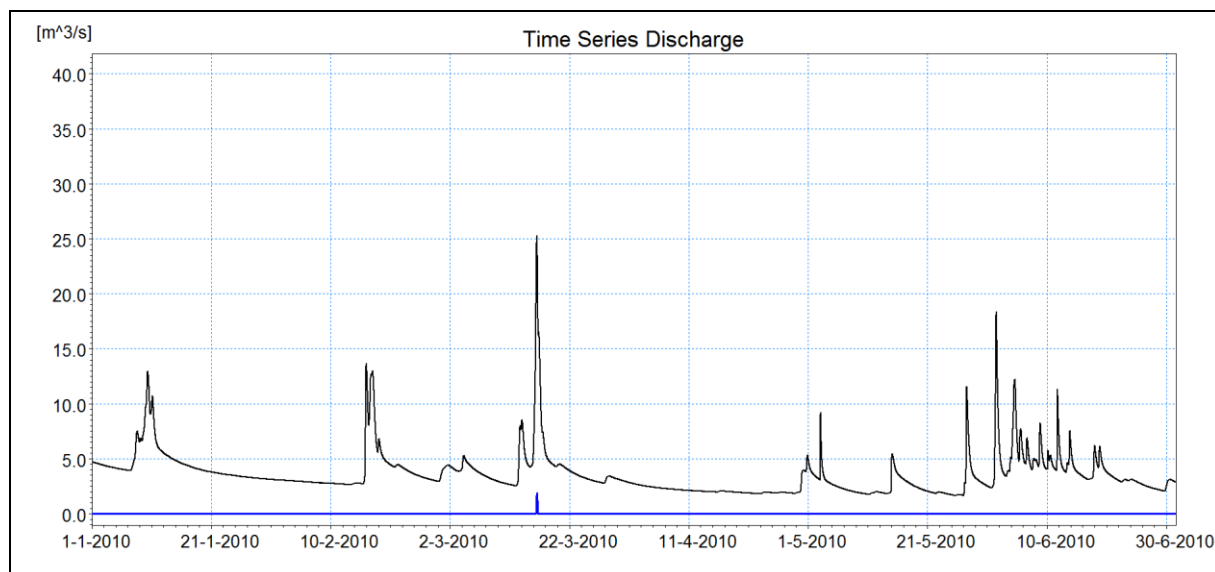


Figura 47 – Idrogrammi T. Seveso - 2011 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
16/03/2011	28'000	7	12	2	21
14/07/2011	28'000	4	5	2	11
20/07/2011	4'000	4	5	0	9
06/08/2011	90'000	6	3	7	16
05/11/2011	224'000	17	21	17	55
<b>totale</b>	<b>374'000</b>	<b>38</b>	<b>46</b>	<b>28</b>	<b>112</b>
				<b>giorni</b>	<b>5</b>



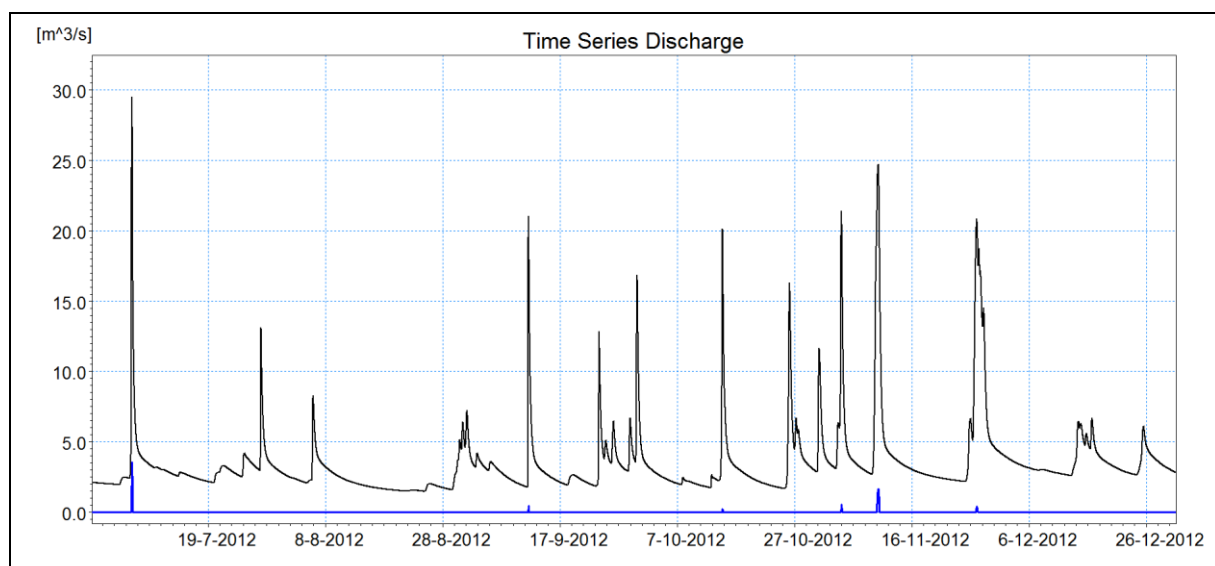
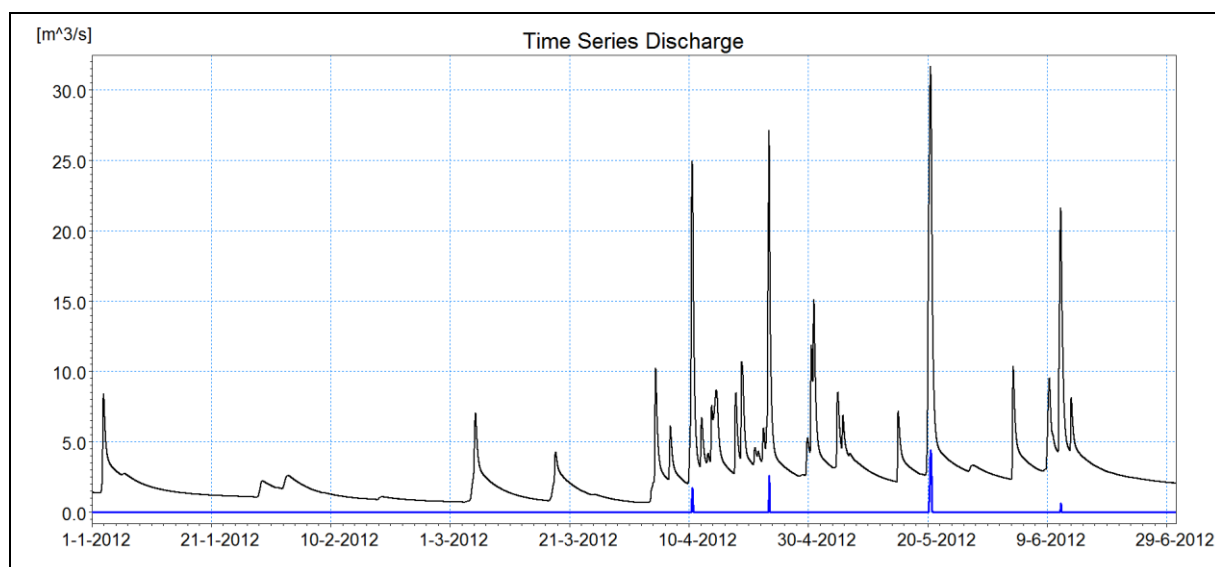


Figura 48 – Idrogrammi T. Seveso - 2012 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
10/04/2012	27'000	7	5	2	14
23/04/2012	30'000	7	5	2	14
20/05/2012	125'000	15	6	9	30
11/06/2012	7'000	5	8	1	14
06/07/2012	37'000	5	5	3	13
11/09/2012	3'000	3	6	0	9
03/11/2012	5'000	4	6	0	10
10/11/2012	46'000	13	6	3	22
27/11/2012	7'000	8	30	1	39
<b>totale</b>	<b>287'000</b>	<b>67</b>	<b>77</b>	<b>22</b>	<b>166</b>
				<b>giorni</b>	<b>7</b>

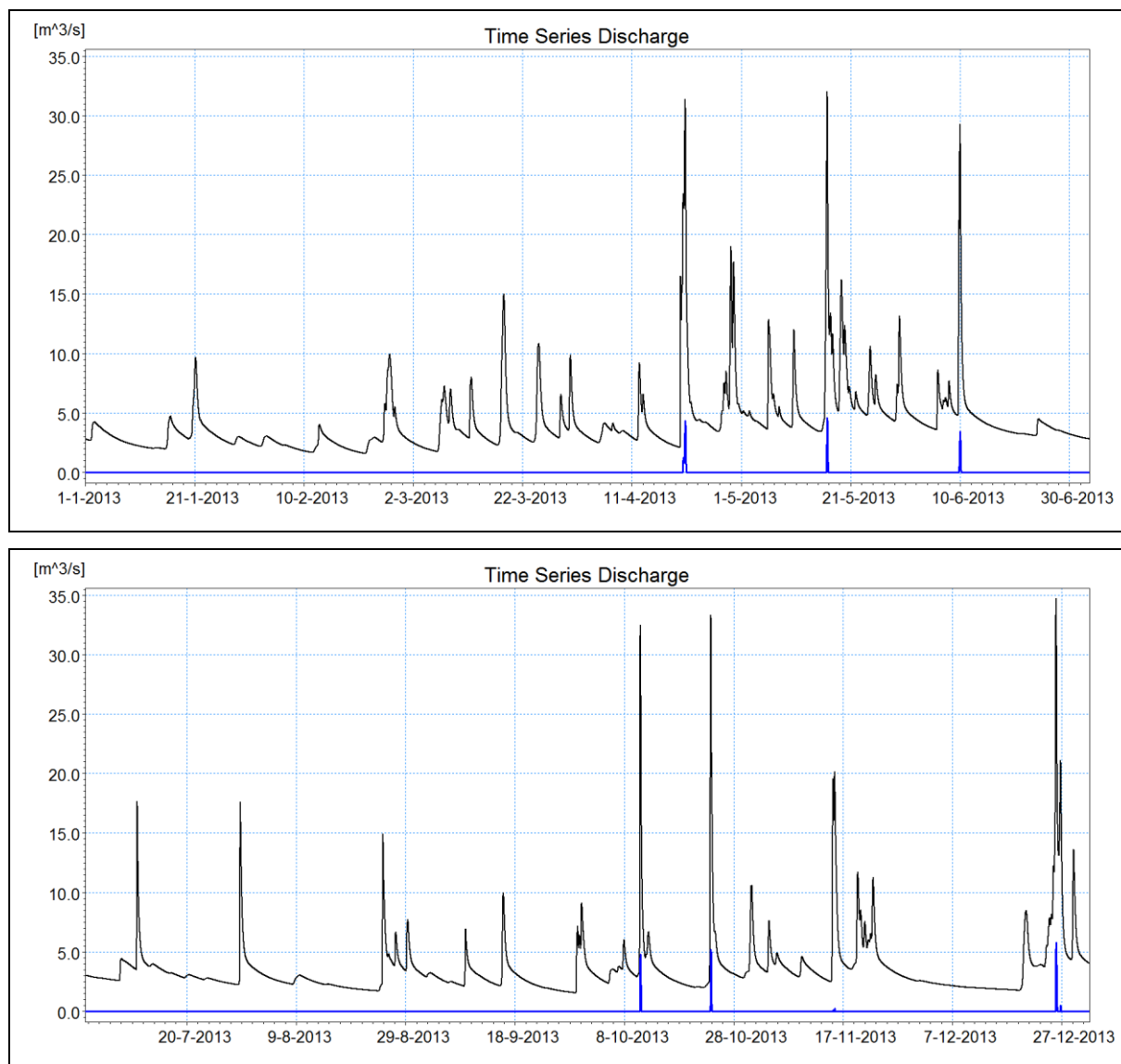


Figura 49 – Idrogrammi T. Seveso - 2013 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
20/04/2013	100'000	16	8	8	32
16/05/2013	69'000	8	17	5	30
09/06/2013	55'000	10	6	4	20
10/10/2013	63'000	6	5	5	16
23/10/2013	66'000	7	5	5	17
25/12/2013	95'000	9	22	7	38
<b>totale</b>	<b>448'000</b>	<b>56</b>	<b>63</b>	<b>34</b>	<b>153</b>
				<b>giorni</b>	<b>6</b>

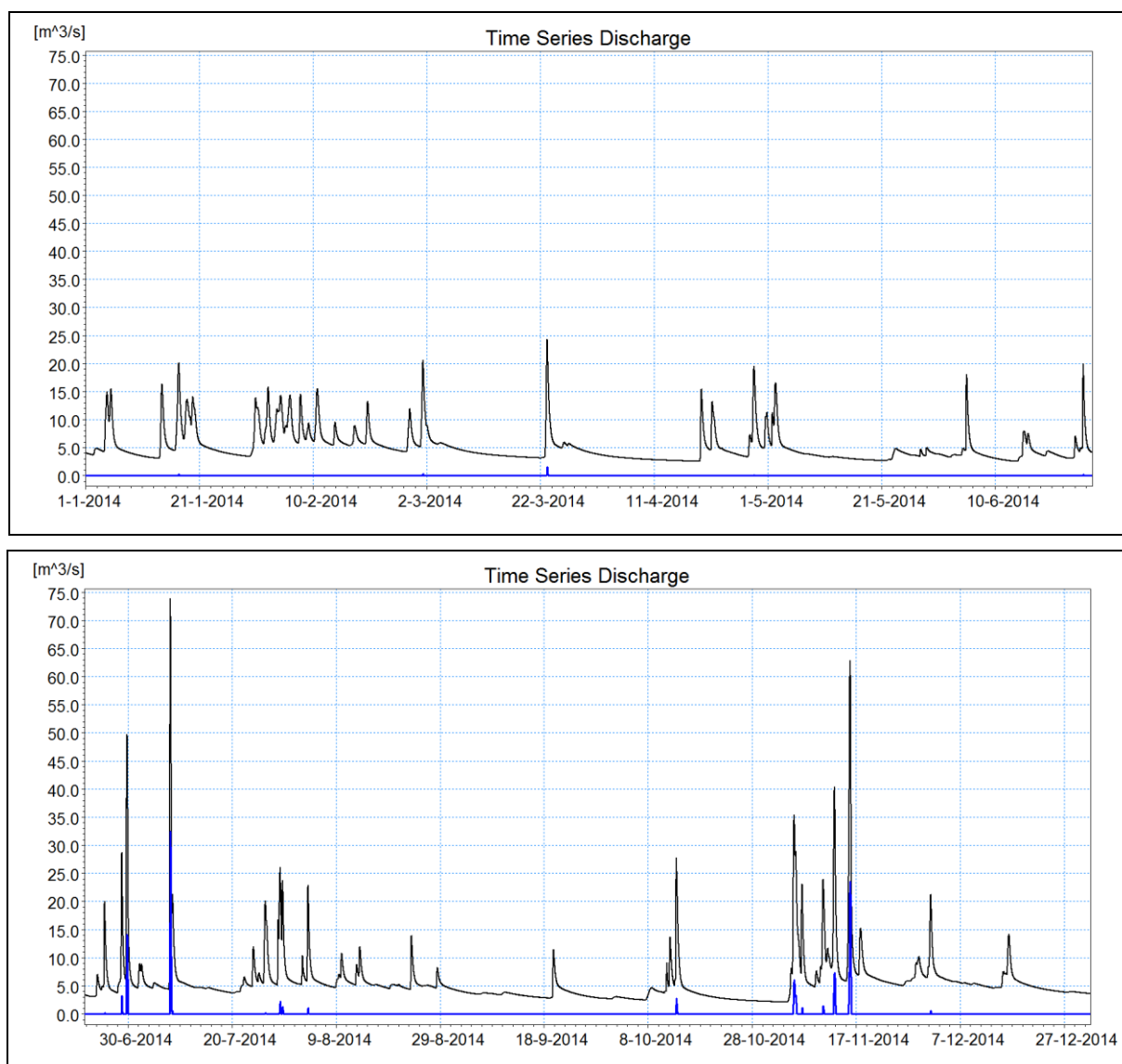


Figura 50 – Idrogrammi T. Seveso - 2014 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
23/03/2014	18'000	6	9	1	16
29/06/2014	300'000	15	23	23	61
08/07/2014	560'000	11	12	42	65
29/07/2014	50'000	13	13	4	30
03/08/2014	10'000	5	7	1	13
13/10/2014	36'000	7	8	3	18
05/11/2014	222'000	18	13	17	48
10/11/2014	21'000	8	7	2	17
12/11/2014	186'000	12	8	14	34
15/11/2014	578'000	15	9	43	67
01/12/2014	5'000	4	8	0	12
<b>totale</b>	<b>1'986'000</b>	<b>114</b>	<b>117</b>	<b>149</b>	<b>380</b>
				<b>giorni</b>	<b>16</b>

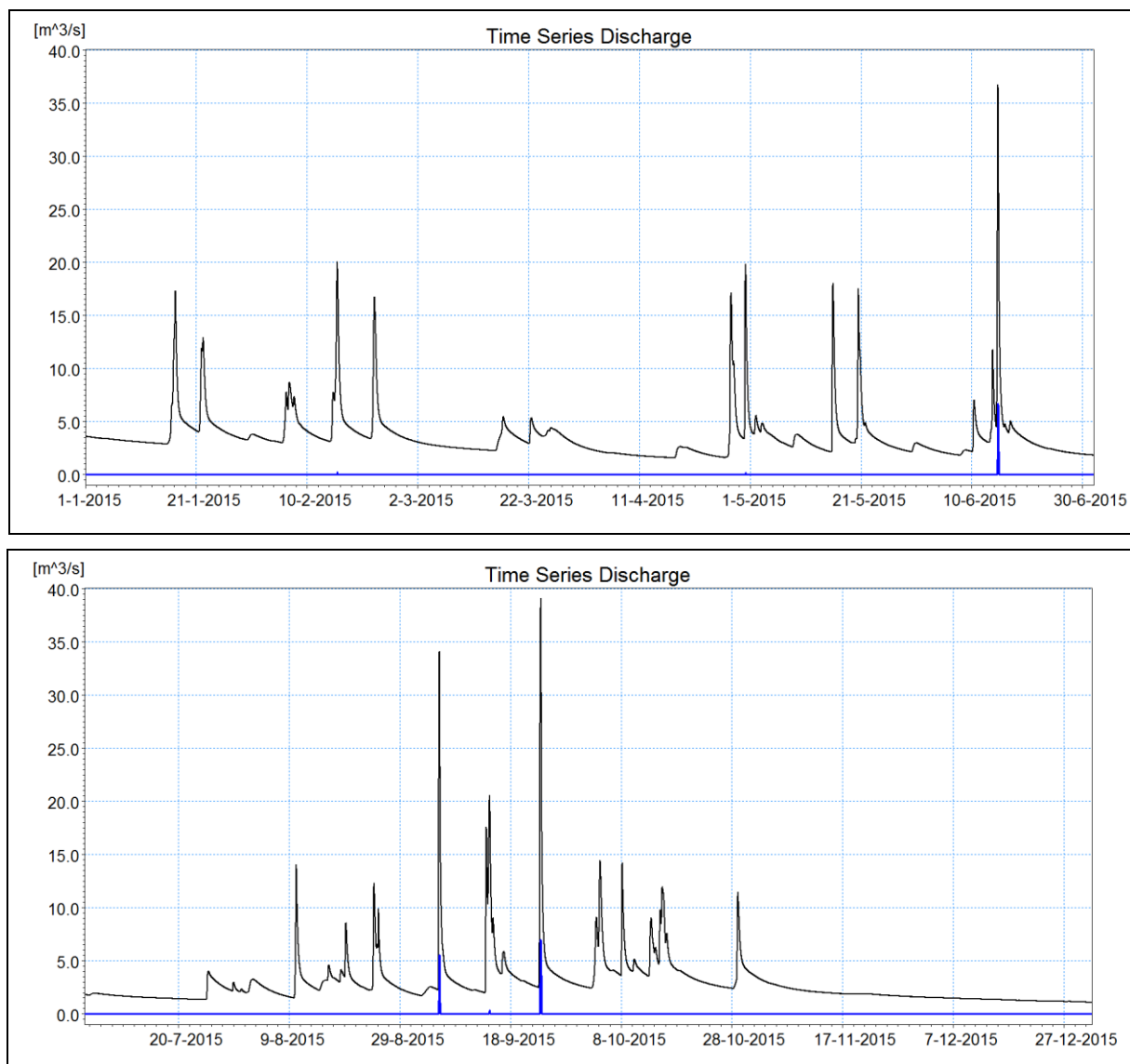


Figura 51 – Idrogrammi T. Seveso - 2015 (linea nera: a monte opera di presa; linea blu: portata invasata)

data	volume	durata evento	durata permanenza	durata svuotamento	durata totale
	[mc]	[ore]	[ore]	[ore]	[ore]
14/06/2015	100'000	8	5	8	21
05/09/2015	78'000	7	4	6	17
23/09/2015	122'000	8	5	9	22
<b>totale</b>	<b>300'000</b>	<b>23</b>	<b>14</b>	<b>23</b>	<b>60</b>
				<b>giorni</b>	<b>2</b>

Dall'analisi condotta si è ottenuto che:

- nell'intero periodo considerato, il numero di eventi meteorici caratterizzati da una portata del T. Seveso nei pressi dell'invaso di laminazione in scavo maggiore di circa  $20 m^3/s$ , che quindi avrebbero indotto lo sfioro nella vasca di laminazione, sono stati 46 ed in

particolare: 12 nel 2010, 5 nel 2011, 9 nel 2012, 6 nel 2013, 11 nel 2014 e 3 nel 2015. In media si sarebbero verificati circa 8 eventi all'anno che avrebbero interessato la vasca di laminazione;

- il volume laminato complessivamente sarebbe stato pari a circa 5,1 Mm<sup>3</sup>. Il volume massimo assoluto sfiorato nell'invaso sarebbe stato pari a circa 578'000 m<sup>3</sup> nell'evento del 15 novembre 2014. Il volume medio sfiorato nell'invaso di Lentate sul Seveso per ciascun evento sarebbe stato pari a circa 111'000 m<sup>3</sup>.

Nella seguente Tabella 5 sono riportati i risultati di tali analisi.

**Tabella 5 – Analisi eventi meteorici reali che avrebbero interessato l'invaso di Lentate sul Seveso**

anno	2010	2011	2012	2013	2014	2015	totale
n. eventi	12	5	9	6	11	3	<b>46</b>
Volume complessivo invasato [Mm <sup>3</sup> ]	1.7	0.4	0.3	0.4	2.0	0.3	<b>5.1</b>
Volume medio ad evento [Mm <sup>3</sup> ]	0.14	0.08	0.03	0.07	0.18	0.1	<b>0.11</b>

Come evidenziato precedentemente, è stato anche valutato il tempo di permanenza dell'acqua all'interno degli invasi, considerando sia la fase di riempimento, sia la fase di permanenza, sia quella di svuotamento.

Dall'analisi condotta si è ricavato un tempo complessivo di presenza di acqua all'interno dell'invaso di Lentate sul Seveso pari a 52 giorni nell'intero periodo 2010÷2015 (circa 9 giorni all'anno in media), con la seguente ripartizione annuale: 16 giorni nel 2010, 5 giorni nel 2011, 7 giorni nel 2012, 6 giorni nel 2013, 16 giorni nel 2014 e 2 giorni nel 2015.

Un altro dato importante che è possibile ricavare, è la quantità di volume invasato che verrebbe scaricato a gravità e quello che verrebbe scaricato mediante la stazione di sollevamento (a cui sono da associare gli oneri energetici). Siccome lo scarico a gravità si attiva solo per volumi superiori a circa 690'000 m<sup>3</sup>, nel periodo considerato l'intero volume laminato sarebbe stato svuotato per sollevamento.

In tutte le analisi sopra riportate sono comprese due annate particolarmente gravose (2010 e 2014) che hanno un'elevata incidenza sulle stime effettuate; ad ulteriore dimostrazione si ricorda che in tali anni si sono verificati in media 7 eventi di esondazione a Milano (8 nel 2010 e 6 nel 2014, fino al 30 settembre), mentre il valore medio dal 1976 ad oggi è pari a



circa 2,8.

## 6.2 ANALISI EVENTI SINTETICI (EVENTI DI TEMPO DI RITORNO 2, 5, 10, 100 ANNI)

Le analisi sono state condotte attraverso diverse simulazioni effettuate mediante il modello idrologico-idraulico del T. Seveso, implementato e tarato nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011*; in particolare, sono state condotte simulazioni con riferimento ad eventi “teorici” caratterizzati da 2, 5, 10, 100 anni di tempo di ritorno, e quindi correlati alla scala probabilistica di rischio. Si ricorda che nello *Studio-AIPo-2011* le simulazioni erano state condotte solo con riferimento ad un evento di progetto caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni.

Per poter effettuare le simulazioni per i diversi valori di tempo di ritorno sopra riportati si è fatto riferimento, analogamente a quanto già condotto nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011*, alla curva di possibilità pluviometrica espressa nella forma  $h_T(D) = a_1 w_T D^n$ , in cui  $D$  rappresenta la durata dell'evento meteorico,  $T$  il tempo di ritorno, mentre  $a_1$  (coefficiente pluviometrico orario),  $w_T$  (quantili normalizzati per i diversi tempi di ritorno espressi in anni) e  $n$  (esponente di scala) sono i parametri delle curve che variano spazialmente, ricavabili in corrispondenza di ciascun sottobacino del T. Seveso, dal sito internet dell'ARPA ([http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg\\_serv\\_idro.phtml](http://idro.arpalombardia.it/pmapper-3.2/wg_serv_idro.phtml)).

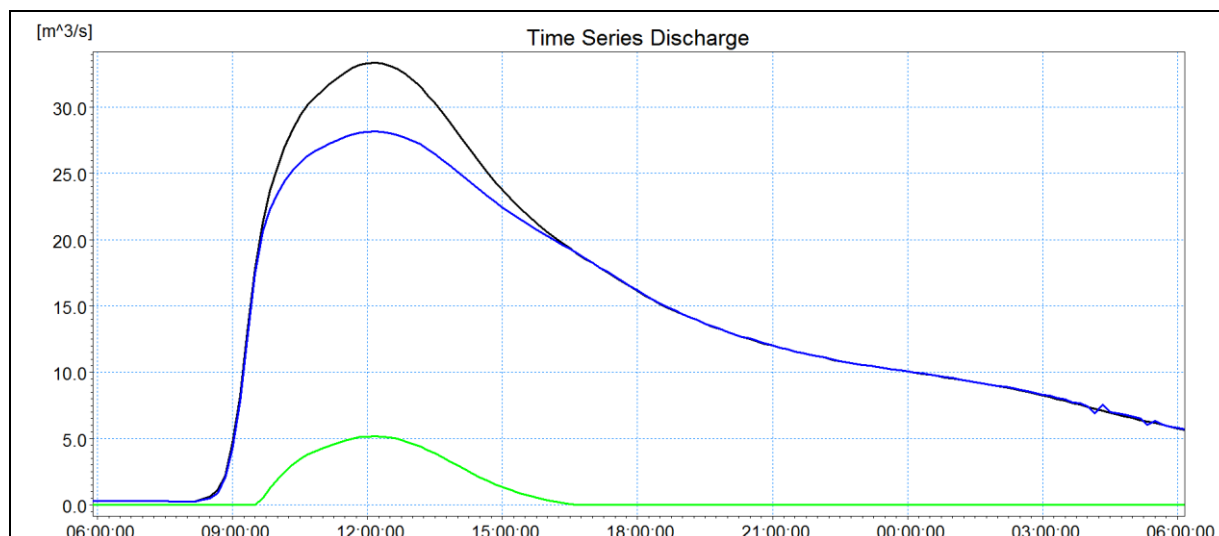
Per gli eventi caratterizzati da tempi di ritorno più contenuti, pari a 2, 5 e 10 anni, sono state ipotizzate condizioni iniziali di maggior umidità del terreno, rispetto a quelle considerate per l'evento caratterizzato da 100 anni di tempo di ritorno. Ciò è stato fatto considerando l'alta probabilità che si possano verificare, prima di un evento non particolarmente eccezionale, altri eventi pluviometrici minori capaci di incrementare il grado di umidità del terreno e di ridurre, quindi, le perdite idrologiche per infiltrazione. Per l'evento caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 100 anni, invece, tale aspetto è, di fatto, già considerato nell'estrema gravità dell'evento stesso.

### 6.2.1 Analisi evento per T=2 anni

Nella Figura 52 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=2 anni, nello stato attuale, a monte della presa dell'invaso di laminazione in scavo.

La porzione di idrogramma che viene laminata in tale evento è pari a 74'000 m<sup>3</sup>, e la portata che prosegue verso valle è pari a circa 28 m<sup>3</sup>/s, con una riduzione del picco proveniente da

monte di circa  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

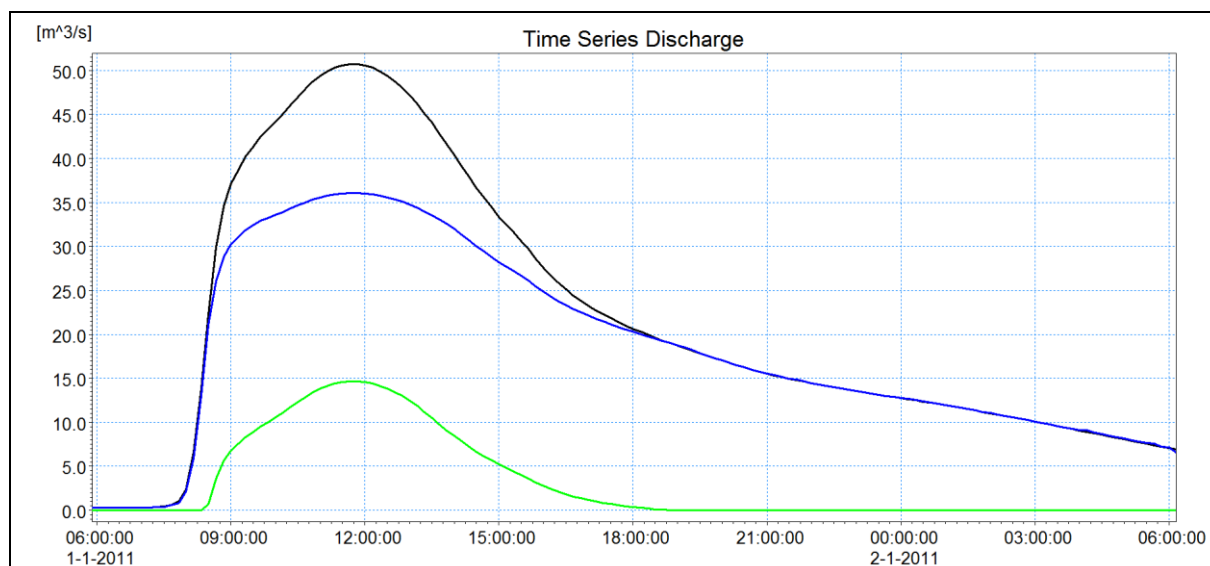


**Figura 52 – Analisi evento per T=2 anni (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione)**

### 6.2.2 Analisi evento per T=5 anni

Nella Figura 53 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=5 anni, nello stato attuale, a monte della presa dell'invaso di laminazione in scavo.

La porzione di idrogramma che viene laminata in tale evento è pari a  $272'000 \text{ m}^3$  e la portata che prosegue verso valle è pari a circa  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ , con una riduzione del picco proveniente da monte di circa  $15 \text{ m}^3/\text{s}$ .

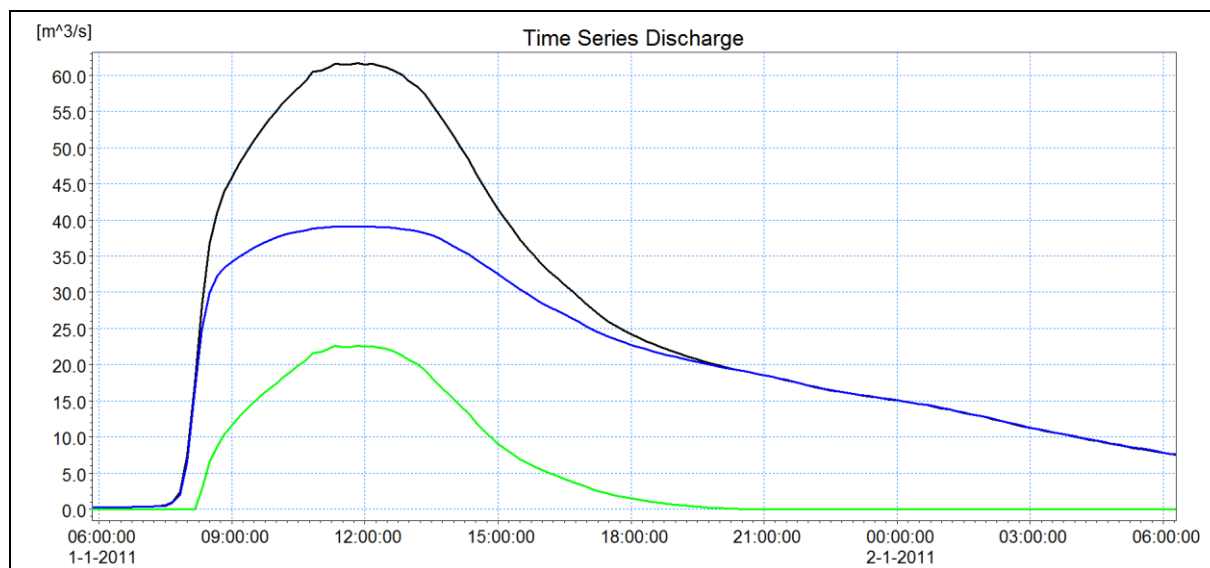


**Figura 53 – Analisi evento per T=5 anni (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione)**

### 6.2.3 Analisi evento per T=10 anni

Nella Figura 54 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=10 anni, nello stato attuale, a monte della presa dell'invaso di laminazione in scavo.

La porzione di idrogramma che viene laminata in tale evento è pari a 467'000 m<sup>3</sup> e la portata che prosegue verso valle è pari a circa 39 m<sup>3</sup>/s, con una riduzione del picco proveniente da monte di circa 23 m<sup>3</sup>/s.

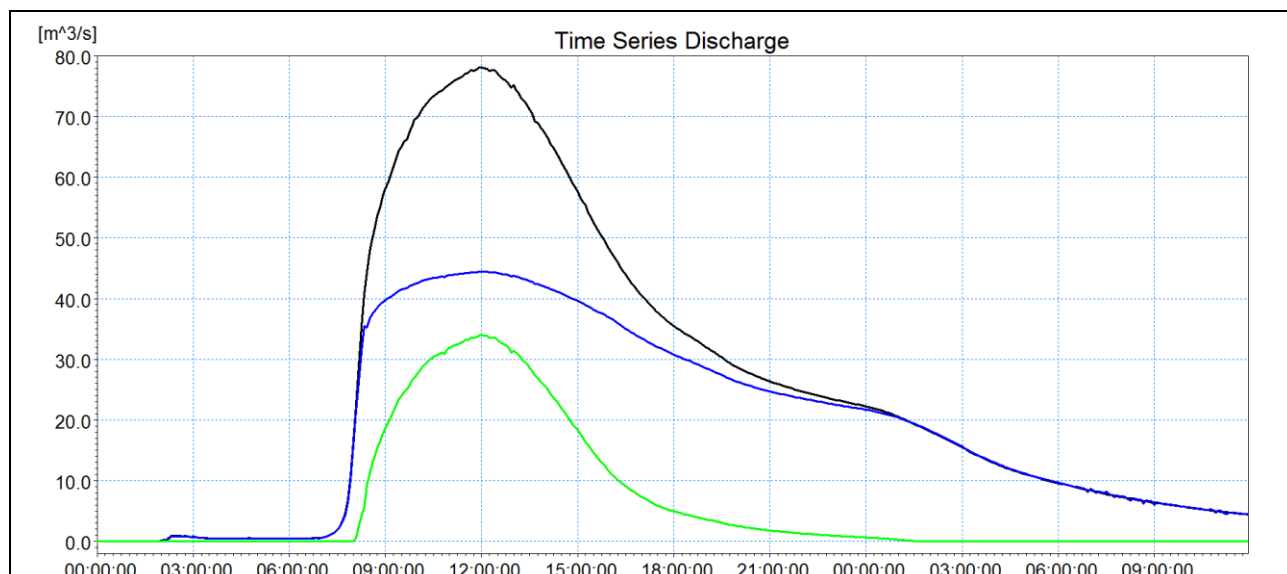


**Figura 54 – Analisi evento per T=10 anni (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione)**

### 6.2.1 Analisi evento per T=100 anni

Nella Figura 55 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=100 anni, nello stato attuale, a monte della presa dell'invaso di laminazione in scavo.

La porzione di idrogramma che viene laminata in tale evento è pari a 808'000 m<sup>3</sup>, e la portata che prosegue verso valle è pari a circa 44 m<sup>3</sup>/s, con una riduzione del picco proveniente da monte di circa 34 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 55 – Analisi evento per T=100 anni (linea nera: monte opera di presa, linea blu: valle opera di presa, linea verde: ingresso area di laminazione)**

Milano, gennaio 2016

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC STUDIO PAOLETTI s.r.l.

Dott. Ing. Giovanni Battista Peduzzi

STUDIO PAOLETTI INGEGNERI ASSOCIATI

Prof. Ing. Alessandro Paoletti

STUDIO ASSOCIATO DI GEOLOGIA SPADA

Dott. Geol. Mario Spada