

VASCA DI LAMINAZIONE SUL FIUME SEVESO

Comune di Senago (MI)

PROGETTO DEFINITIVO

MI-E-789

OTTOBRE 2014



	NOME	FIRMA	DATA
REDAZIONE	S. Croci		
VERIFICA	G.B. Peduzzi		
APPROVAZIONE	A. Paoletti		

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

Dott. Ing. CHIARA TONETTO

ETATEC

S.R.L.



Sistema Certificato
UNI EN ISO 9001
SC 06-647/EA 34



STUDIO PAOLETTI
SOCIETA' DI INGEGNERIA

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

STUDIO PAOLETTI
INGEGNERI ASSOCIATI

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

Studio Associato di Geologia Spada

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



Via Napoli 14/5 35020 Ponte S. Nicolò (PD)

CONSULENZE SPECIALISTICHE:

ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

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

QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

LAND Milano Srl



UNI EN ISO 9001
certificato 09.1517



Via Varese 16 20121 Milano

tel: +39 02 806911.1 - fax: +39 02 806911.30 www.landmilano.com
GRUPPO LAND Milano Roma Cagliari Duisburg

Landscape
Architecture
Nature
Development

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

TITOLO

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

SCALA

Revisioni			
	1	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI VIA	APRILE 2015
	2	RECEPIMENTO PRESCRIZIONI CONF. DEI SERVIZI	GIUGNO 2015
	3	RECEPIMENTO OSSERVAZIONI VERIFICA PROGETTUALE	AGOSTO 2015
Numero elaborato	TIPOLOGIA	COMMESSA	DOCUMENTO
	PD	250-23	AT
			NUMERO
			A.4.1



I N D I C E

1.	PREMESSA.....	4
2.	CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO .	6
2.1	ASSETTO ATTUALE DEL F. SEVESO.....	6
2.2	MODELLAZIONE IDRODINAMICA DEL F. SEVESO EFFETTUATA NELLO STUDIO-AIPO-2011 ..	11
2.3	ASSETTO DI PROGETTO DEL F. SEVESO COME DA <i>STUDIO-AIPO-2011</i>	18
2.3.1	Funzionamento degli invasi di laminazione nell'assetto di progetto (per T=100 anni).....	24
2.4	FUNZIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO NELL'ASSETTO ATTUALE DEL T. SEVESO (SENZA OPERE DI LAMINAZIONE A MONTE DEL CSNO)	29
2.4.1	Analisi evento per T=100 anni.....	31
2.4.2	Analisi evento per T=2 anni.....	33
2.4.3	Analisi evento per T=5 anni.....	34
2.4.4	Analisi evento per T=10 anni.....	35
2.5	FUNZIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO NELL'ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO (CON OPERE DI LAMINAZIONE A MONTE DEL CSNO)	36
3.	CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE GARBOGERA	38
3.1	ASSETTO ATTUALE	38
3.2	ASSETTO DI PROGETTO	41
3.3	PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. GARBOGERA	45
4.	CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE PUDIGA.....	47
4.1	ASSETTO ATTUALE	47
4.2	ASSETTO DI PROGETTO	49
4.3	PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. PUDIGA	52
5.	SINTESI DELLE PORTATE E DEI VOLUMI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLA VASCA DI LAMINAZIONE DI SENAGO	55
6.	DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO DELLE VASCHE DI LAMINAZIONE	60

6.1	GENERALITÀ	60
6.2	INVASO DI LAMINAZIONE	61
6.2.1	Principali caratteristiche dell'invaso di laminazione	61
6.2.2	Portate di riferimento per i dimensionamenti delle opere.....	64
6.3	OPERE DI PRESA	64
6.3.1	Opere di presa sul CSNO.....	64
6.3.2	Opere di presa sul T. Garbogera	67
6.3.3	Opere di presa sul T. Pudiga.....	70
6.4	CANALE DI ALIMENTAZIONE DEL PRIMO SETTORE DI INVASO	72
6.5	MANUFATTI DI COLLEGAMENTO TRA I DIVERSI SETTORI DELL'INVASO	75
6.5.1	Dimensionamento delle soglie di sfioro per il collegamento tra il I e il II settore 75	
6.5.2	Sistema di collegamento tra il II e il III settore	75
6.6	SCARICHI DI SUPERFICIE E DI FONDO	82
6.6.1	Richiami del Regolamento Dighe D. MIT. 26/06/2014 (G.U. 08/07/2014 n. 156) ...	82
6.6.2	Calcolo portate di progetto dello scarico di superficie	83
6.6.3	Dimensionamento dello scarico di superficie del II settore.....	86
6.6.4	Dimensionamento dello scarico di superficie del III settore	91
6.6.5	Determinazione della quota di coronamento delle arginature perimetrali.	94
6.6.6	Dimensionamento degli scarichi di fondo	96
7.	ADEGUAMENTO DEL CSNO NEL TRATTO CONFLUENZA GARBOGERA – CONFLUENZA PUDIGA.....	106
7.1	SCENARI IDRAULICI E OPERE IN PROGETTO	106
7.2	PORTATE DI PROGETTO	107
7.3	MODELLAZIONE IDRAULICA.....	108
7.4	VERIFICHE IDRAULICHE	111
8.	RIDUZIONE INDOTTA DALLA VASCA DI SENAGO NELLA FREQUENZA E NELL'ENTITÀ DELLE ESONDAZIONI A MILANO.....	116
8.1	ANALISI EVENTI REALI	116
8.1.1	Analisi evento 3 maggio 2010	119
8.1.2	Analisi evento 14 maggio 2010	121
8.1.3	Analisi evento 5 agosto 2010.....	122
8.1.4	Analisi evento 12 agosto 2010.....	124
8.1.5	Analisi evento 18 settembre 2010.....	125
8.1.6	Analisi evento 1 novembre 2010	126
8.1.7	Analisi evento 16 novembre 2010	128
8.1.8	Analisi evento 27 maggio 2011	129
8.1.9	Analisi evento 6 agosto 2011	130

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

8.1.10	Analisi evento 12 settembre 2012.....	131
8.1.11	Analisi evento 23 ottobre 2013	133
8.1.12	Analisi evento 25 giugno 2014	134
8.1.13	Analisi evento 8 luglio 2014.....	135
8.1.14	Analisi evento 26 luglio 2014.....	136
8.1.15	Analisi evento 29 luglio 2014.....	138
8.1.16	Analisi evento 3 agosto 2014.....	139
8.1.17	Analisi evento 20 agosto 2014.....	140
8.1.18	Analisi evento 12 novembre 2014	141
8.1.19	Analisi evento 15-16 novembre 2014.....	142
8.1.20	Sintesi delle analisi condotte con riferimento agli eventi reali che hanno causato esondazione a Milano	145
8.1.21	Analisi degli eventi con portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m ³ /s verificatisi nel periodo 2010÷2014 (fino al 30 settembre)	147
8.2	ANALISI EVENTI SINTETICI (EVENTI DI TEMPO DI RITORNO 2, 5, 10, 100 ANNI)	152

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>




1. PREMESSA

La presente relazione descrive le principali caratteristiche idrologico-idrauliche del sistema fluviale afferente alla vasca di laminazione del T. Seveso in Comune di Senago ed espone i calcoli di dimensionamento dei diversi manufatti idraulici che compongono l'intero sistema di laminazione condotti nel presente Progetto Definitivo.

I corsi d'acqua interessati dall'opera di laminazione in progetto sono tre: il T. Seveso, che è in grado di scolmare una porzione dei deflussi di piena nella vasca di laminazione attraverso il Canale Scolmatore Nord Milano (CSNO), il T. Garbogera e il T. Pudiga, entrambi adiacenti alle aree interessate dall'opera di invaso.

Relativamente all'assetto idrologico-idraulico di tali corsi d'acqua, le analisi di seguito esposte si basano essenzialmente sui contenuti dei seguenti studi e progetti:

- T. Seveso: *“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 scrivente società ETATEC s.r.l. su incarico di AIPO, poi approvato nell'ambito dell'Accordo di Programma relativo alla difesa idraulica del territorio milanese;
- Relazione di *“Analisi delle alternative di ubicazione della vasca di laminazione”* redatto a novembre 2012, nell'ambito delle attività propedeutiche al progetto preliminare (la relazione è in parte ripresa nell'elaborato n. A-2);
- T. Seveso, T. Garbogera e T. Pudiga: *“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 (da qui in poi indicato con la sigla AdBPo-2004), alla cui redazione ha partecipato anche la scrivente società ETATEC s.r.l.;
- Vasca di laminazione di Senago: *“Progetto preliminare della vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago (MI)”* in data Aprile 2013 (d'ora in poi denominato PP-Senago-2013), redatto dallo scrivente R.T. su incarico di AIPO;
- *“Progetto preliminare delle opere di adeguamento del CSNO nel tratto tra confluenza Garbogera e confluenza Pudiga”* in data Luglio 2014 (d'ora in poi denominato PP-CSNO-2014), redatto dallo scrivente R.T. su incarico di AIPO;




A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- *“Progetto definitivo I Lotto della vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago (MI)”* in data Luglio 2014 (d’ora in poi denominato PD-I lotto_Senago-2014), redatto dalla scrivente società ETATEC s.r.l. su incarico di AIPo, approvato in linea tecnica ed in attesa di essere sottoposto alla Valutazione di Impatto Ambientale e alla Conferenza dei Servizi;
- *“Progetto definitivo della vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago (MI)”* in data Ottobre 2014 (d’ora in poi denominato PD_Senago-2014), redatto dagli scriventi su incarico di AIPo;
- *“Progetto definitivo della vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago (MI)”* in data Aprile 2015 (d’ora in poi denominato PD-rev1_Senago-2015), redatto dagli scriventi su incarico di AIPo.

In particolare vengono qui riprese e ampliate in modo organico tutte le analisi idrologiche e idrauliche contenute nelle precedenti versioni dei progetti, onde presentare unitariamente gli aspetti idrologici e idraulici attinenti all’insieme delle opere costituenti l’intero progetto della vasca di laminazione del fiume Seveso a Senago.

La presente relazione è articolata nel seguente modo:

- nei capitoli 2, 3 e 4 vengono presentate le caratteristiche idrologico-idrauliche dei torrenti Seveso, Garbogera e Pudiga, che alimentano la vasca di laminazione di Senago;
- nel capitolo 5 viene riportata una sintesi delle portate e dei volumi per il dimensionamento della vasca di laminazione di Senago;
- nel capitolo 6 vengono presentati i calcoli di dimensionamento idraulico delle diverse opere che costituiscono l’insieme delle opere (I e II lotto) incluse nel presente progetto;
- nel capitolo 7 vengono presentati i calcoli di dimensionamento idraulico relativi all’adeguamento del CSNO nel tratto compreso tra confluenza Garbogera e confluenza Pudiga;
- nel capitolo 8, infine, vengono presentate le analisi della frequenza di utilizzo dell’invaso di laminazione di Senago e degli effetti indotti in termini di riduzione delle esondazioni a Milano, facendo riferimento sia ad eventi reali che ad eventi sintetici di riferimento (per tempo di ritorno variabile tra 2 e 100 anni).

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO

Vengono qui riportate in modo riassuntivo le analisi idrologico-idrauliche e le simulazioni modellistiche dettagliatamente esposte nel rapporto conclusivo dello studio di fattibilità AIPo 2011, che viene riportato integralmente nel presente progetto come allegato (Elaborato n. A.4.1). A tale Allegato si fa quindi ripetutamente riferimento in quel che segue.

2.1 ASSETTO ATTUALE DEL F. SEVESO

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

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

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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- 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 103 esondazioni (in media 2,7 esondazioni all'anno). Negli ultimi anni sono stati particolarmente critici il 2010, durante il quale si sono verificate ben 8 esondazioni, di cui particolarmente grave quella del 18 settembre, e il 2014, con ben 8 esondazioni tra cui quelle dell'8 luglio e del 15 novembre in cui si sono generate portate massime 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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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

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

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

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

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

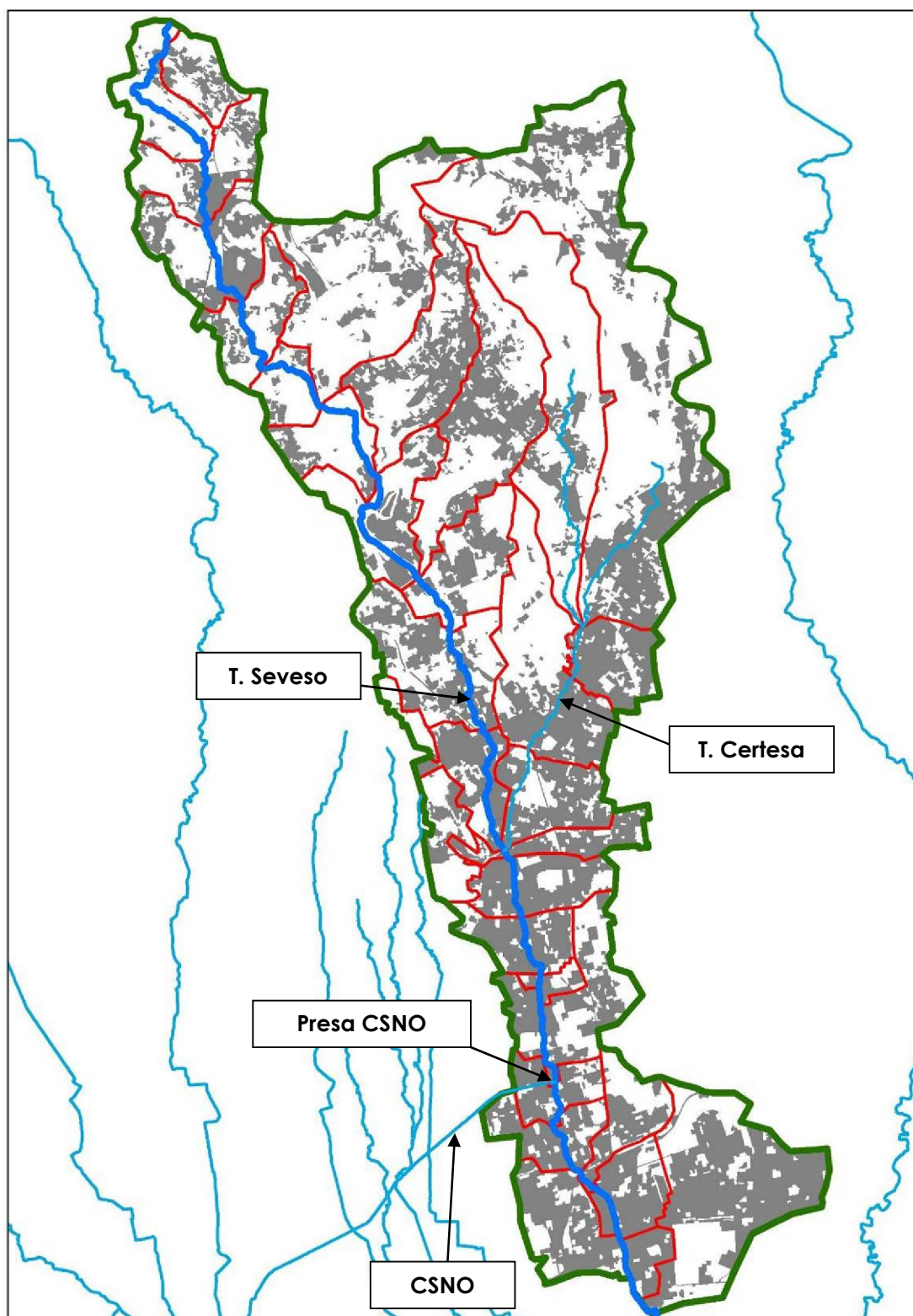


Figura 2 – Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i 32 sottobacini del modello idrologico (fino all’imbocco del tratto tombinato in Milano), mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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.

2.2 MODELLAZIONE IDRODINAMICA DEL F. SEVESO EFFETTUATA NELLO STUDIO-AIPO-2011

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, nello *Studio-AIPO-2011* è stato utilizzato il codice di calcolo MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute. Esso, infatti, comprende moduli idonei al caso in oggetto, in funzione del livello di conoscenza, peraltro assai elevato data l'ampiezza delle operazioni topografiche di campo incluse nello studio, della reale geometria dei manufatti e delle aree. Si rimanda all'Allegato (Elaborato n. A.4.1) per ogni dettaglio sul modello e sulle sue particolari calibrazioni attinenti sia agli aspetti inerenti la formazione delle piene nei sottobacini urbani e extraurbani sia ai processi idrodinamici di propagazione e invaso lungo il reticolo idrodinamico e le aree di esondazione e di laminazione.




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

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

Tabella 1 – Sottobacini del modello idrologico e loro caratteristiche principali

Nome sottobacino	Superficie totale [km²]	Superficie extraurb. [km²]	Superficie urbanizzata [km²]	Note
SEV 1a	2.97	1.84	1.13	Cavallasca, San Fermo della Battaglia
SEV 1b	4.69	4.18	0.51	San Fermo della Battaglia, Montano Lucino
SEV 1c	3.00	1.57	1.43	Como, Montano Lucino
SEV 1d	2.49	1.78	0.71	Montano Lucino, Villa Guardia
SEV 2	6.89	3.27	3.62	Villa Guardia, Grandate Luisago, Casnate con Bernate
SEV 3	4.72	2.99	1.73	Casnate con Bernate Fino Mornasco
ACQ	15.80	12.04	3.76	Affluente Rio Acquanegra
SEV 4	2.68	2.17	0.51	Fino Mornasco Vertemate con Minoprio
ANT	7.37	2.65	4.72	Affluente Valle Antonio
SEV 5	4.25	3.26	0.99	Vertemate con Minoprio
SEV 6	6.33	3.92	2.41	Carimate
SER	8.73	3.62	5.11	Affluente Rio Serenza
SEV 7	11.38	9.15	2.23	Carimate, Novedrate, Figino Serenza
SEV 8	8.78	4.62	4.16	Lentate sul Seveso
SEV 9	4.03	1.03	3.00	Barlassina, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
CER 1	35.51	23.80	11.71	Affluente Certesa Mariano Comense
TER	16.20	13.67	2.53	Terrò
CER 2	4.20	0.84	3.36	Affluente Certesa Mariano Comense, Cabiato <i>Solo contributo urbano</i>
CER 3	11.30	6.70	4.60	Affluente Certesa Meda
CER 4	5.10	1.59	3.51	Affluente Certesa Meda, Seveso <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 10	2.90	0.80	2.10	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
COM	4.34	3.26	1.08	Affluente Comasinella
SEV 11	4.74	1.14	3.60	Cesano Maderno <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 12	3.75	0.87	2.88	Bovisio Masciago <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 13	0.96	0.40	0.56	Varedo <i>Solo contributo urbano</i>
SEV 14	7.44	3.46	3.98	Varedo, Paderno Dugnano <i>Solo contributo urbano</i>
Totale	190.55	114.62	75.93	

Il modello idrodinamico dell'asta principale del torrente Seveso è stato implementato attraverso 485 sezioni, atte a caratterizzare tutte le diverse situazioni di alveo (concentrato,




A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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 definitivo “*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.

Particolare cura è stata posta nella modellazione del sistema che costituisce l’opera di presa e di regolazione del C.S.N.O., in modo tale da consentire la derivazione dal torrente Seveso di una portata massima di circa 30 m³/s nella situazione attuale e di 60 m³/s nella situazione di progetto. Allo stato attuale un primo tratto del C.S.N.O. risulta già potenziato e quindi in grado di convogliare verso valle portate dell’ordine di 60 m³/s, ma siccome tale valore non può essere convogliato verso valle, l’opera di presa del C.S.N.O. viene regolata in modo tale

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

da limitare l'apporto dal Seveso.

In particolare, il nodo idraulico della presa del C.S.N.O. è costituito dalle seguenti opere:

- la paratoia a settore posta lungo il T. Seveso a valle della soglia di sfioro di alimentazione nel C.S.N.O., che durante gli eventi di piena che possono generare situazioni di allagamento in Comune di Milano viene completamente abbassata, è stata modellata attraverso uno sfioratore frontale a larga soglia ("weir"). Per evitare fenomeni di invaso dell'alveo durante la fase di inizializzazione della simulazione, è stato introdotto in prossimità dello sfioratore frontale uno scarico di fondo ("culvert") di dimensioni ridotte in grado di garantire il passaggio delle portate iniziali verso valle.
- soglia di sfioro fissa in c.a. posta in sponda destra del T. Seveso a monte della paratoia a settore. Tale opera è stata modellata tramite uno sfioratore laterale a larga soglia ("link") avente le caratteristiche geometriche dell'opera esistente (altezza, larghezza);
- paratoie di scarico contigue allo sfioratore laterale e poste a valle di esso. Tali opere sono state modellate tramite uno sfioratore laterale a larga soglia ("link") avente la larghezza uguale alla luce di passaggio delle opere esistenti e quota di sfioro variabile in funzione del tipo di regolazione da simulare.

Per una dettagliata descrizione del modello si rimanda all'Allegato (Elaborato n. ALL-A.4.1). L'assetto idraulico attuale è ben sintetizzato nella seguente Tabella 2 ove si riporta, per tratti, la capacità idraulica dell'alveo a confronto con la portata centennale, risultante dalla modellazione, in arrivo nella sezione anche attraverso lo scorrimento laterale o il superamento di manufatti. In tabella i valori risultano arrotondati ai 5 m³/s, mentre tra parentesi è riportato il valore "di modello".

Nella medesima tabella sono riportati i valori della portata idrologica, intesa come la portata teorica presente in alveo, senza la presenza di restringimenti (ponti, tratti tombinati, ecc.), senza fenomeni di allagamento e senza alterazioni derivanti dall'azione di particolari manufatti idraulici (es. derivazione nel CSNO). E' evidente come tale portata sia molto maggiore rispetto alla portata che effettivamente può transitare in alveo (portata idraulica). Tale differenza mette in evidenza il notevole impatto che le opere interferenti e le aree di esondazione hanno nei confronti della formazione delle piene. Appare pertanto improponibile un'analisi delle portate lungo l'asta principale del Seveso attraverso l'utilizzo di modelli puramente idrologici, ma occorre condurre una modellazione idrologico – idraulica che coniughi i modelli idrologici adottati per calcolare le onde di piena confluenti dai sottobacini

contribuenti con il modello idraulico dell'asta principale.

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

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

In sintesi, l'analisi idrologico-idraulica condotta nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011* ha portato a definire in corrispondenza dell'opera di presa del CSNO, con riferimento ad un evento con tempo di ritorno centennale, l'idrogramma di piena relativo all'assetto attuale, rappresentato nella Figura 3, caratterizzato da un valore della portata al colmo pari a circa 150 m³/s, con un volume dell'onda pari a circa 6,7 Mm³.

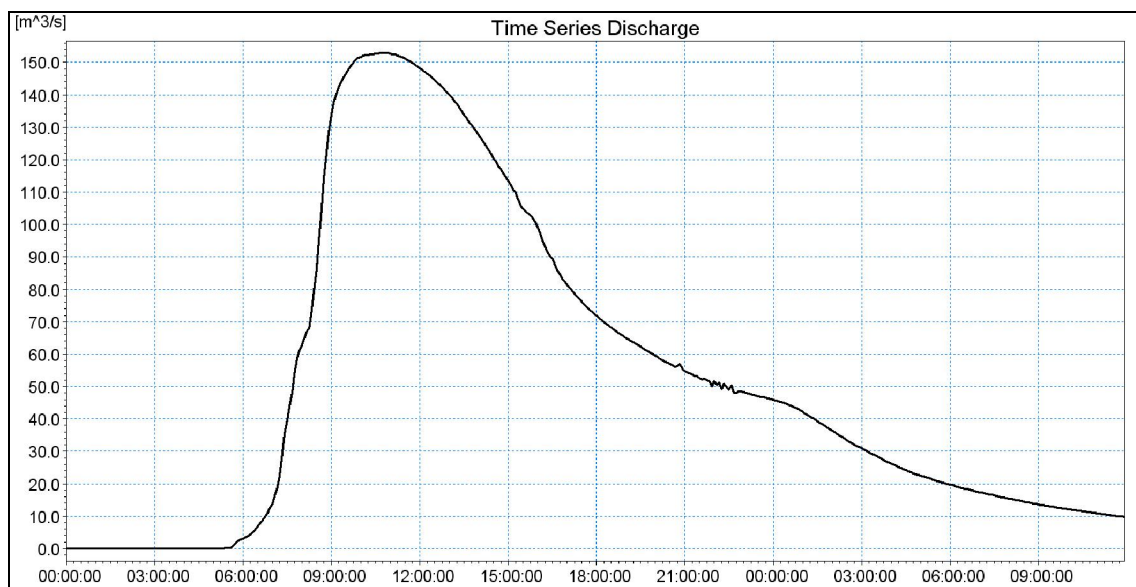


Figura 3 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

Attraverso lo stesso modello utilizzato nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011*, sono stati ricavati gli idrogrammi nella medesima sezione, ma con riferimento a tempi di ritorno inferiori, pari a 2, 5 e 10 anni, riportati nelle figure seguenti.

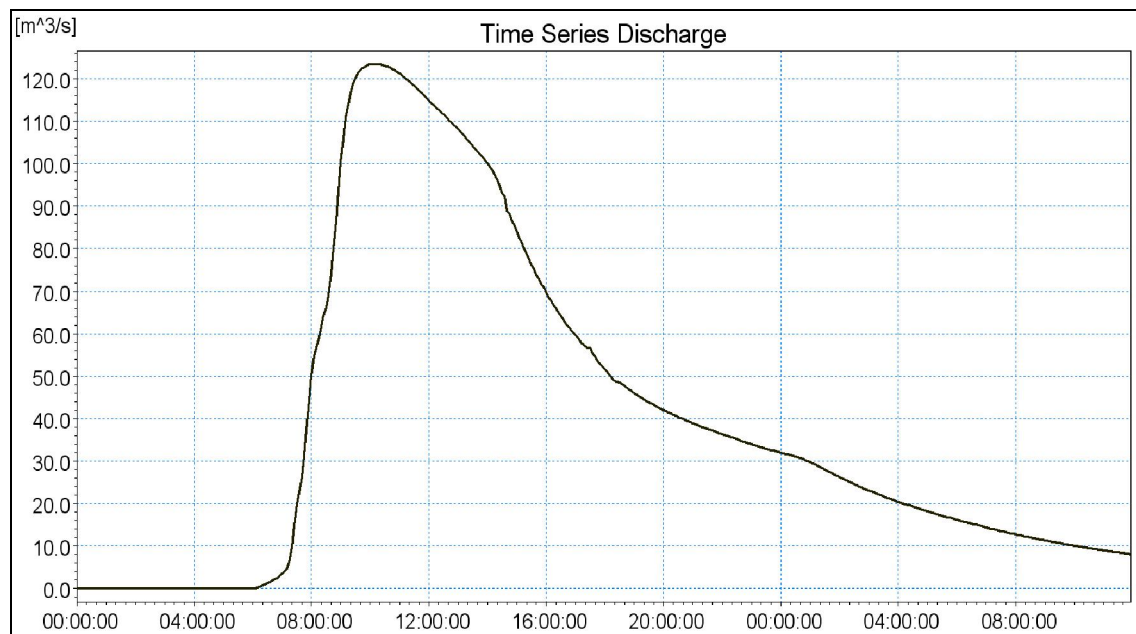


Figura 4 – Idrogramma T=10 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

L'evento di 10 anni di tempo di ritorno è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa

120 m³/s e il volume dell'onda è pari a circa 5,0 Mm³.

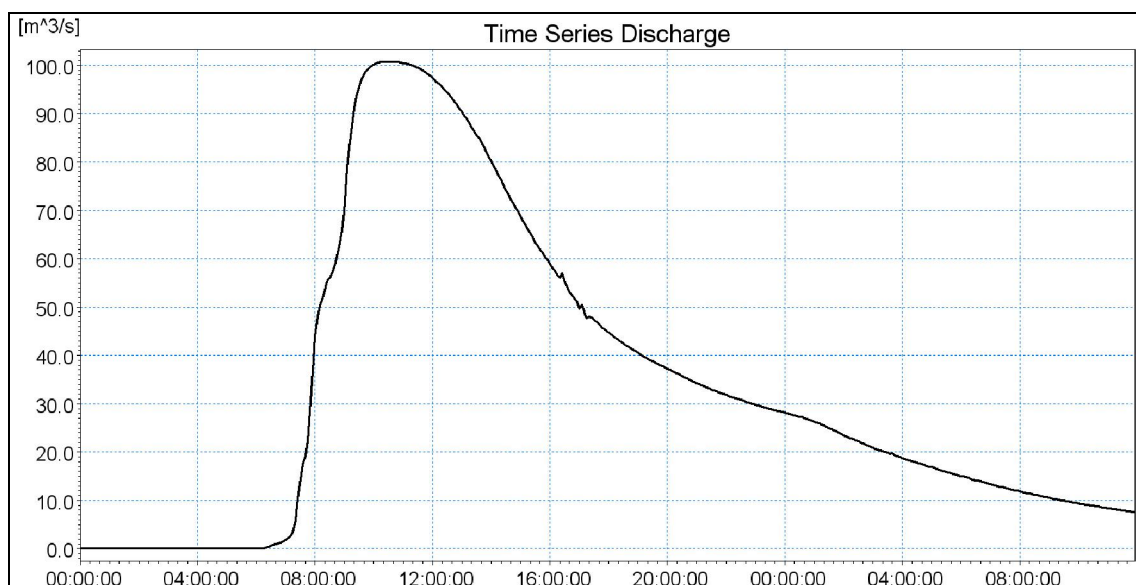


Figura 5 – Idrogramma T=5 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

L'evento di 5 anni di tempo di ritorno è caratterizzato, invece, da una portata al colmo pari a circa 100 m³/s e il volume dell'onda è pari a circa 4,3 Mm³.

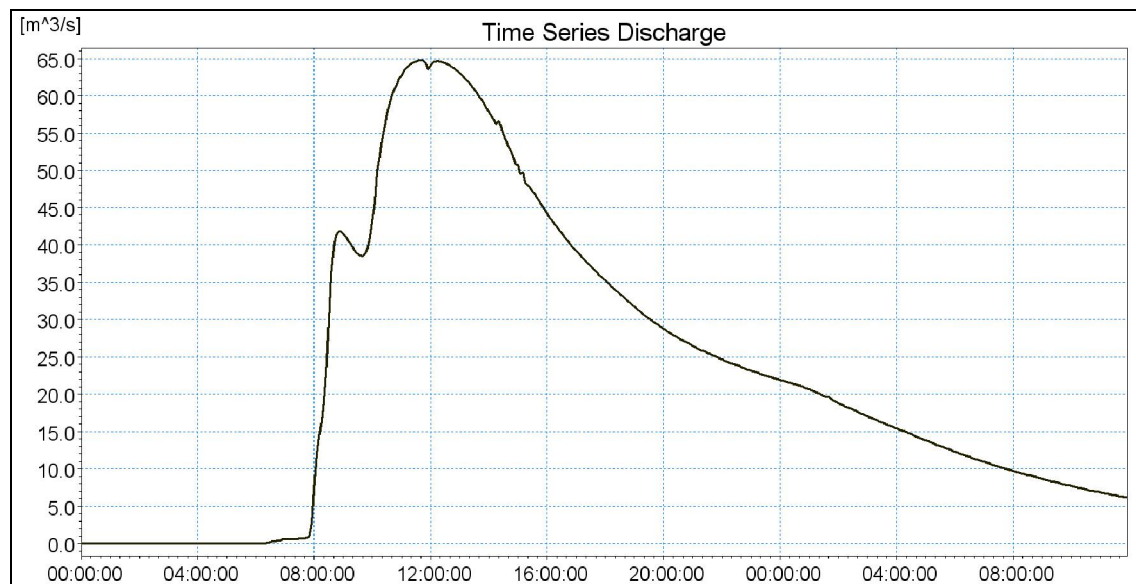





Figura 6 – Idrogramma T=2 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

Infine, l'evento di 2 anni di tempo di ritorno è caratterizzato da una portata al colmo pari a

A.T.P.:				Consulenti:	
		Studio Associato di Geologia Spada	Dott. Ing. C. Tonetto		Prof. Dott. V. Mezzanotte

circa 65 m³/s e il volume dell'onda è pari a circa 2,9 Mm³.

Considerando che:

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

si ha che il grado di insufficienza del Seveso, con particolare riferimento al tratto terminale in attraversamento della Città di Milano, è molto elevato, anche per ridotti valore del tempo di ritorno. Quanto appena affermato conferma quanto già messo in evidenza in precedenza: dal 1976 al 2014 (agosto) si sono verificate 102 esondazioni nella zona di Niguarda, in media 2,7 esondazioni all’anno.

2.3 ASSETTO DI PROGETTO DEL F. SEVESO COME DA *STUDIO-AIPo-2011*

Sulla base delle analisi idrologiche e idrauliche relative allo stato di fatto nello *Studio-AIPo-2011* sono state condotte, mediante il medesimo modello MIKE 11, 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.

Gli interventi hanno tenuto 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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

destinate a coltivazioni.



Il criterio di progetto in tale zona è stato 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 m³/s, mentre la portata compatibile con il tratto tombinato è pari a circa 30÷40 m³/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 m³/s, mentre la capacità idraulica del primo tratto del CSNO è pari a 60 m³/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) – MI.E.78I*” di AIPo e della Provincia di Milano (attualmente in fase di esecuzione dei lavori), ha come obiettivo quello di garantire nel CSNO nella sezione immediatamente a monte dell'immissione del sfioro del T. Garbogera, una portata massima di 25 m³/s, occorre prevedere che anche lungo il primo tratto del CSNO siano disposte opere di laminazione in grado di ridurre fino a tale valore la portata di piena centennale derivata dal Seveso.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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 $6,7 \text{ Mm}^3$ e considerando di poter lasciar proseguire verso valle una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$ (0 a valle della presa del CSNO e $25 \text{ m}^3/\text{s}$ nel CSNO a monte dell'immissione dello sfioro del T. Garbogera), il volume di laminazione complessivamente necessario è pari a circa $4,4 \text{ Mm}^3$, come emerge dal grafico seguente in cui si è ammesso, per una valutazione preliminare (v. più oltre per maggiori dettagli), che il complesso delle laminazioni sia disposto in derivazione e con un effetto di "taglio" a portata costante (teoria della laminazione ottimale).

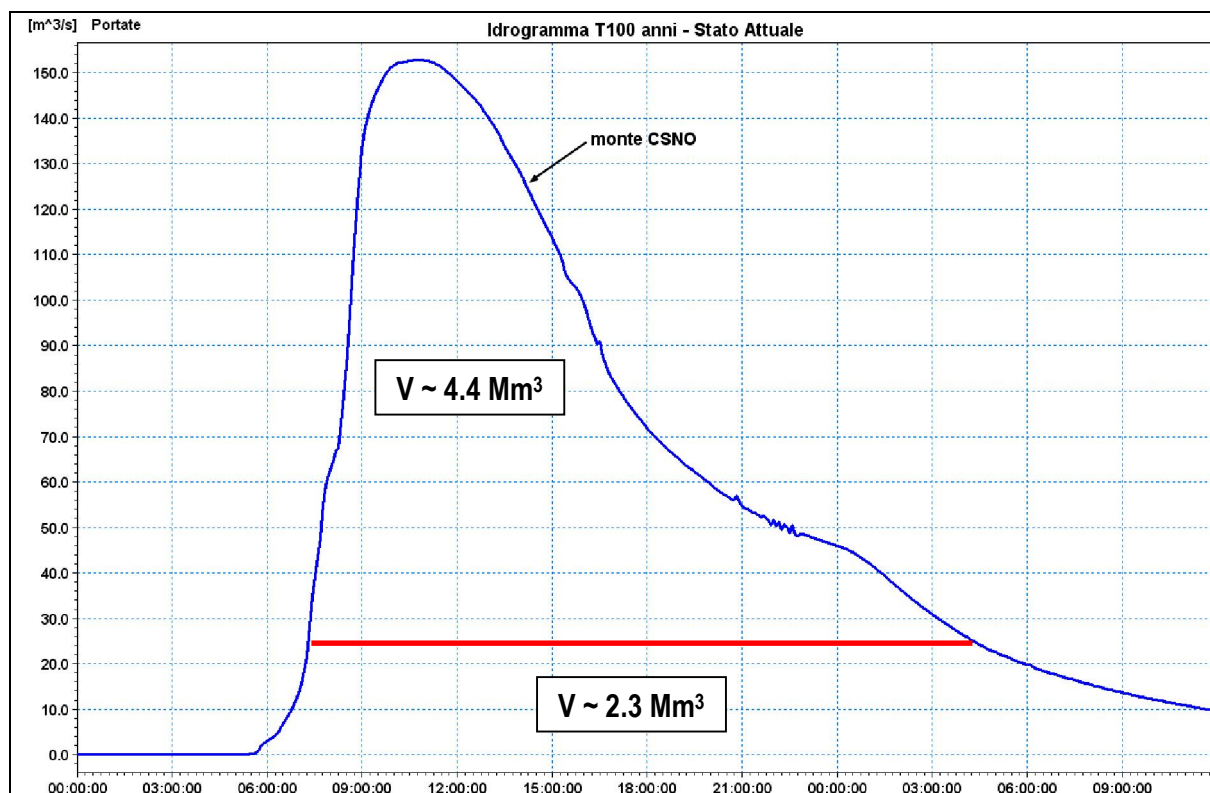


Figura 7 – Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del CSNO. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel CSNO a valle di Senago (intersezione con il T. Garbogera)

In tale scenario, analizzando la situazione del medio bacino del torrente, nello *Studio-AIPo-2011* 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 della situazione urbanistica del territorio ad esso limitrofo, lo *Studio-AIPo-2011* giunge a porre alla base dell'assetto di progetto del T. Seveso le seguenti possibili aree di laminazione indicate nelle planimetrie della Figura 8 e 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 m³);

b) opere di laminazione in scavo lungo il T. Seveso a Lentate sul Seveso (850'000 m³ di invaso), Varedo (1'500'000 m³), Paderno Dugnano (950'000 m³);

c) opere di laminazione in scavo lungo il CSNO a Senago (1'000'000 m³).

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

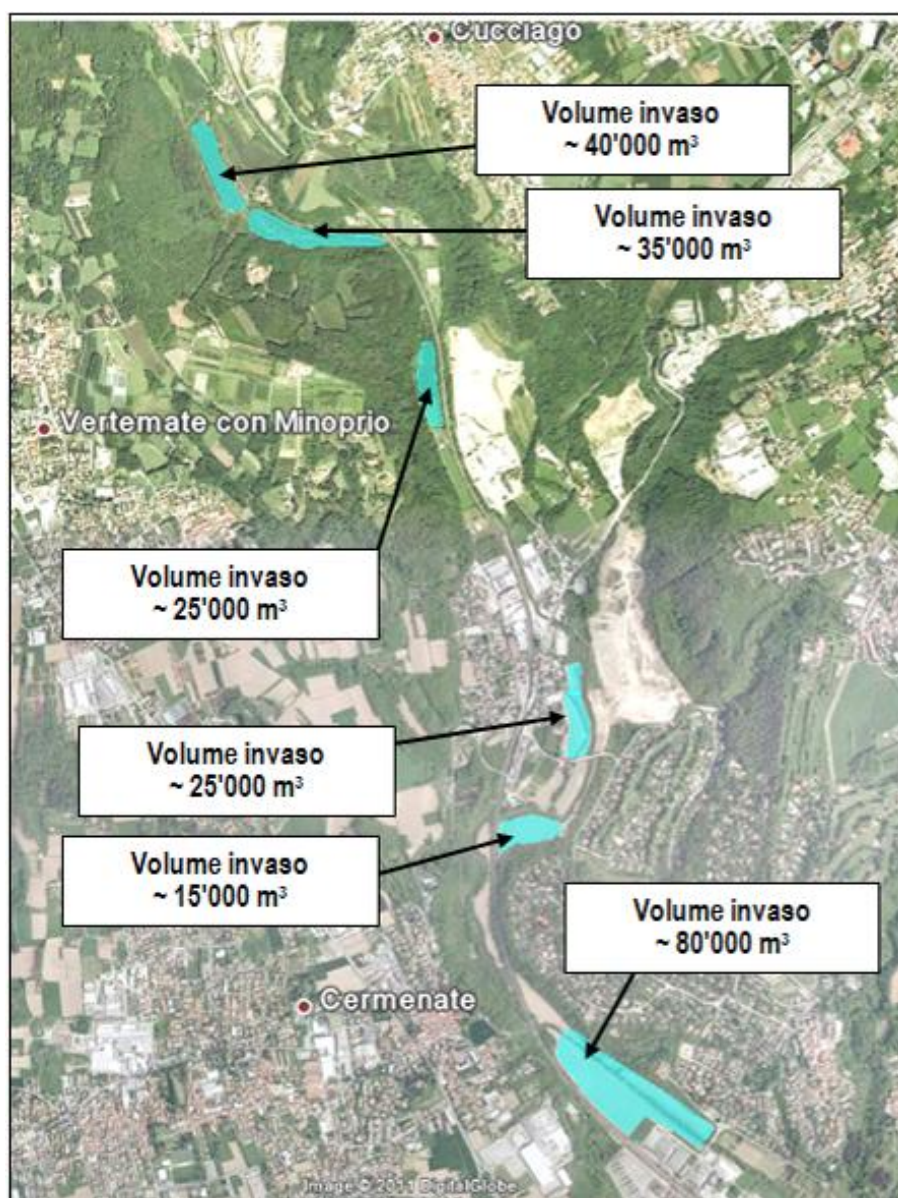


Figura 8 – Invasi di laminazione in aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate (come da Studio-AIPo-2011)

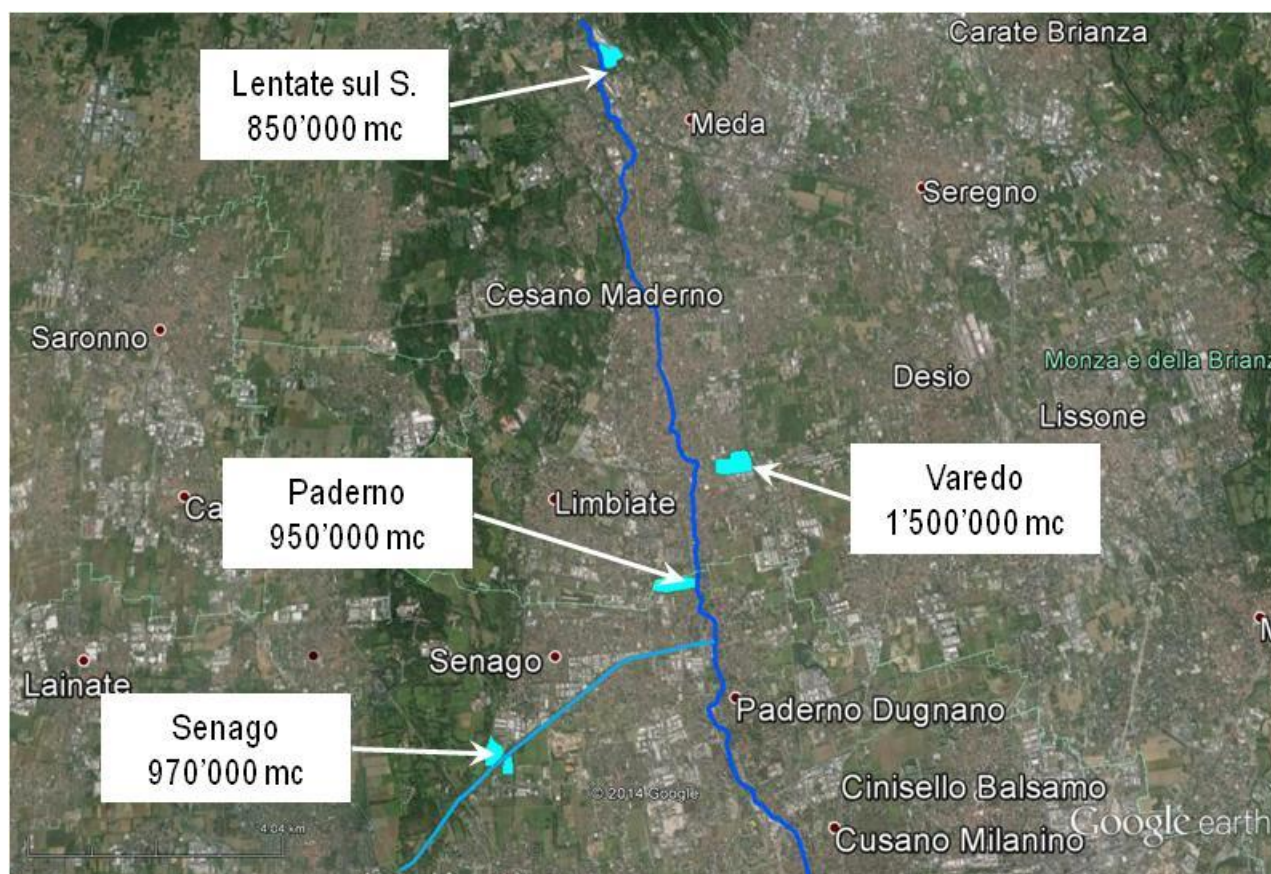


Figura 9 – Invasi di laminazione in scavo da Lentate sul Seveso al CSNO (come da *Studio-AIPo-2011*)

Per quanto riguarda l’invaso di laminazione di cui al prima citato punto c) previsto in prossimità del CSNO, in Comune di Senago, nello *Studio-AIPo-2011* sono state analizzate diverse alternative di localizzazione, presentate nella relazione A.2 “*Sintesi dello studio delle alternative di ubicazione della vasca di laminazione*”, a cui si rimanda per maggiori dettagli ed approfondimenti. Tra le varie alternative analizzate, Regione Lombardia e AIPo hanno individuato come ottimale quella denominata *3-ter*, rappresentata nella Figura 10. Il presente progetto è pertanto stato redatto con riferimento a tale configurazione.

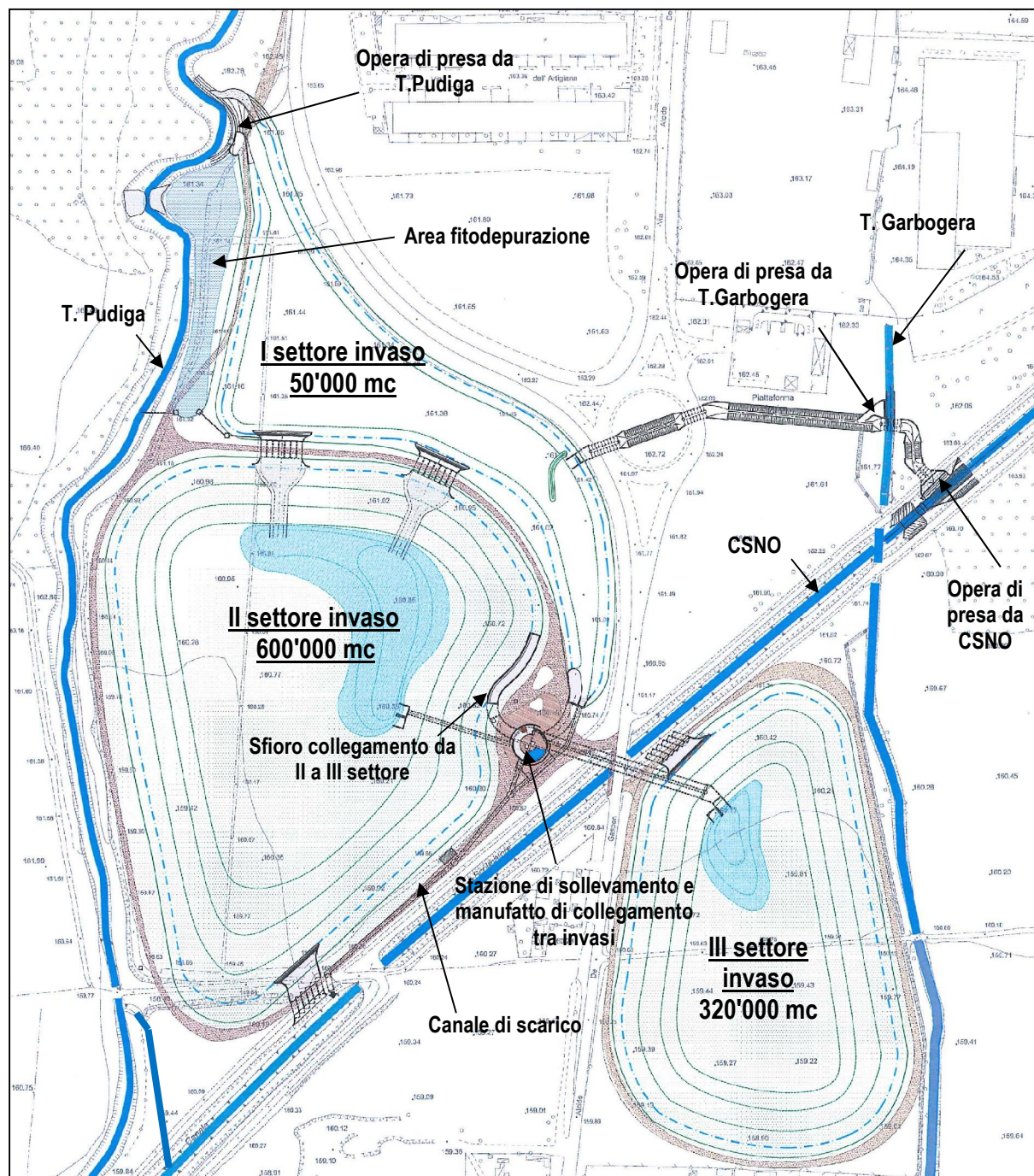


Figura 10 – Schema Alternativa n. 3-ter (come da *Studio-AIPo-2011*).

2.3.1 Funzionamento degli invasi di laminazione nell'assetto di progetto (per T=100 anni)

Di seguito si riportano i risultati della modellazione idrologico-idraulica ottenuti nello *Studio-*

AIPo-2011 relativamente all'assetto di progetto (per maggiori dettagli si rimanda all'Allegato dell'Atto n. A.4.1) con riferimento agli effetti indotti dalle vasche di laminazione previste.

Aree golenali di Cantù, Carimate, Vertemate.

Come già messo in evidenza, tali aree di laminazione permettono una ridotta, ma importante, laminazione dell'onda di piena del Seveso, soprattutto con riferimento ai tratti di alveo posti immediatamente a valle delle stesse. A valle dell'ultima laminazione la portata di piena centennale al colmo nell'assetto di progetto è pari a circa 47 m³/s, mentre il valore calcolato nel modello dello stato di fatto è pari a 57 m³/s.

Il volume complessivamente sottratto all'onda di piena centennale del T. Seveso dalle suddette laminazioni è pari a circa 220'000 m³, che corrisponde al 5% dell'intero volume di laminazione necessario per raggiungere gli obiettivi prefissati nell'assetto di progetto del T. Seveso (4,4 Mm³).

Invaso di laminazione in scavo a Lentate sul Seveso.

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Lentate sul Seveso è così caratterizzato (v. Figura 11):

- volume invasivo: ~ 850'000 m³ (2 settori: 750'000 + 100'000 m³)
- superficie massima: ~ 90'000 m²
- quota piano campagna: ~ 223 m s.m.
- quota massimo invasivo: ~ 221 m s.m.
- quota fondo / minimo invasivo: ~ 198 m s.m. (-25 m)
- quota falda (marzo 2010): ~ 195 m s.m.
- svuotamento: gravità e sollevamento
- Q inizio sfioro verso la vasca: 20 m³/s;
- Q max (T=100) a monte (SV-58.1): 73 m³/s
- Q max (T=100) a valle (SV-58): 40 m³/s
- Q max (T=100) in ingresso all'invaso: 33 m³/s

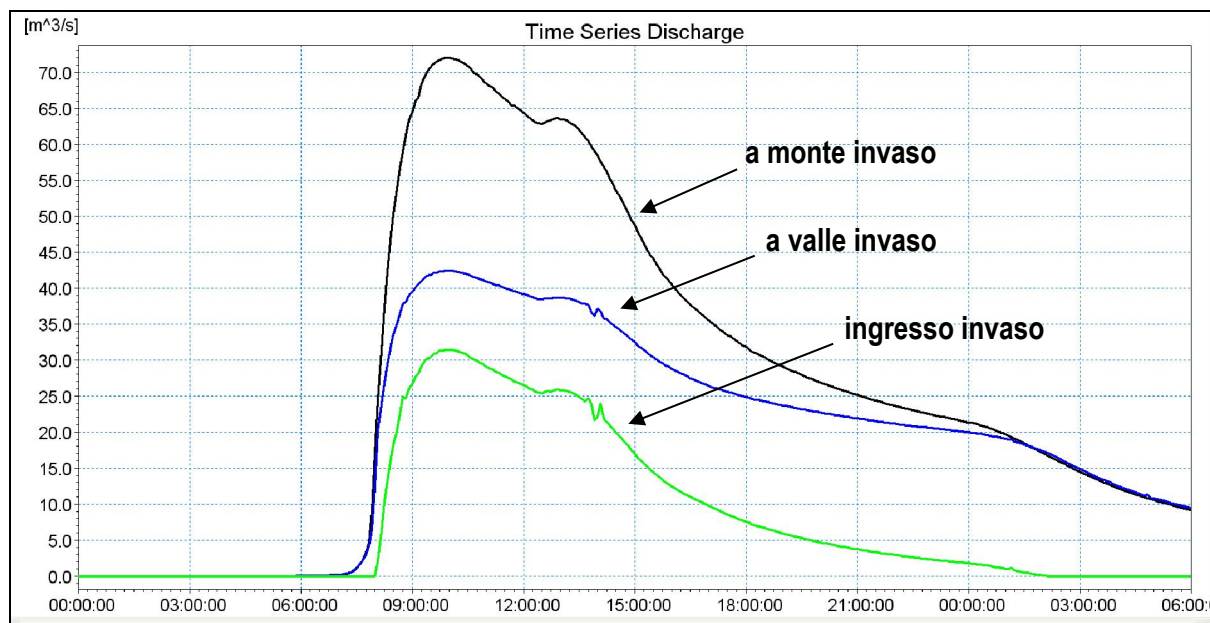


Figura 11 – Invaso di Lentate sul Seveso: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Invaso di laminazione in scavo a Varedo.

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Varedo è così caratterizzato (v. Figura 12):

- volume invaso: $\sim 1'500'000 \text{ m}^3$ (2 settori: $800'000 + 700'000 \text{ m}^3$)
- superficie massima: $\sim 140'000 \text{ m}^2$
- quota piano campagna: $\sim 187 \text{ m s.m.}$
- quota massimo invaso: $\sim 182 \text{ m s.m.}$
- quota fondo / minimo invaso: $\sim 162 \text{ m s.m. (-25 m)}$
- quota falda (marzo 2010): $\sim 153 \text{ m s.m.}$
- svuotamento: gravità e sollevamento
- Q inizio sfioro verso la vasca: $35 \text{ m}^3/\text{s};$
- Q max (T=100) a monte (SV-32.0.1): $132 \text{ m}^3/\text{s}$ (tale valore è condizionato anche dalla presenza degli invasi previsti a monte);
- Q max (T=100) a valle (SV-32): $71 \text{ m}^3/\text{s};$
- Q max (T=100) in ingresso all'invaso: $61 \text{ m}^3/\text{s}.$

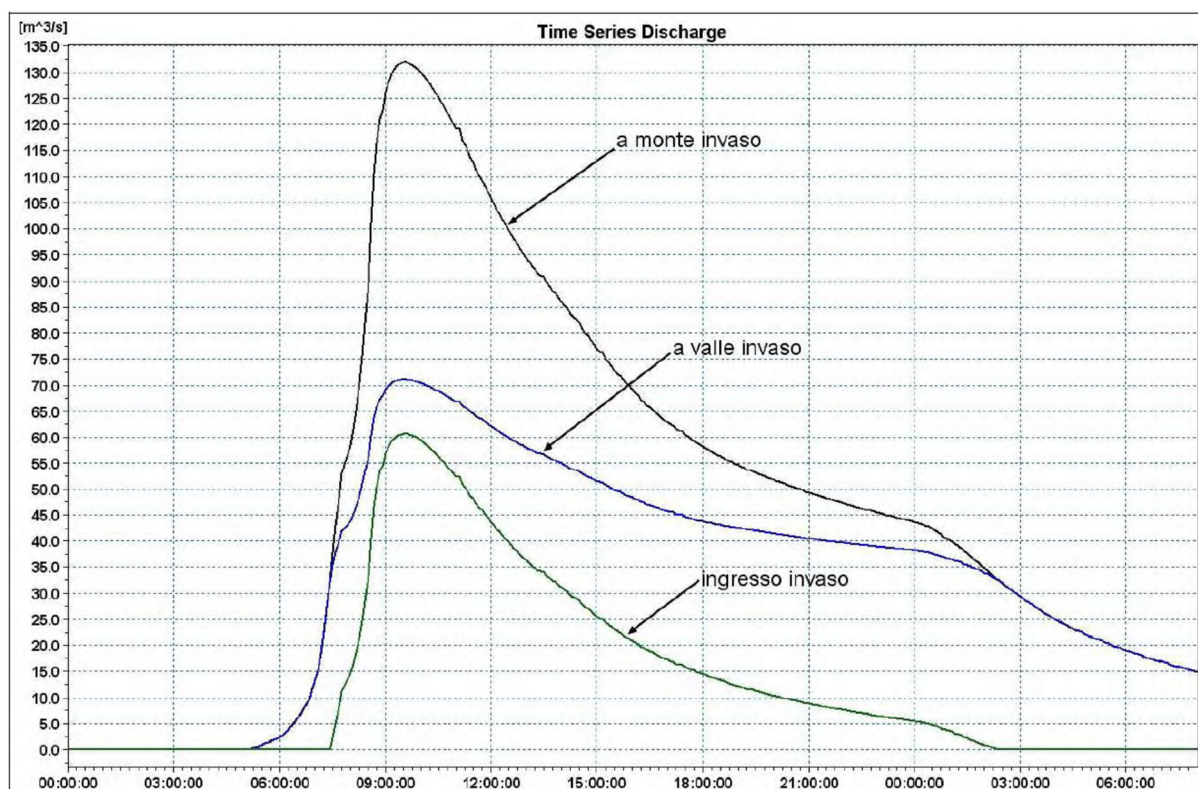


Figura 12 – Invaso di Varedo: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Invaso di laminazione in scavo a Paderno Dugnano.

L'invaso di laminazione in scavo previsto in Comune di Paderno Dugnano è così caratterizzato (v. Figura 13):

- volume invaso: ~ 950'000 m³ (2 settori: 520'000 + 430'000 m³)
- superficie massima: ~ 105'000 m²
- quota piano campagna: ~ 174 m s.m.
- quota massimo invaso: ~ 170 m s.m.
- quota fondo / minimo invaso: ~ 150 m s.m. (-24 m)
- quota falda (marzo 2010): ~ 145 m s.m.
- svuotamento: sollevamento
- Q inizio sfioro verso la vasca: 25 m³/s;
- Q max (T=100) a monte (SV-27.1): 75 m³/s (tale valore è condizionato anche dalla presenza degli invasi previsti a monte)
- Q max (T=100) a valle (SV-32): 48 m³/s
- Q max (T=100) in ingresso all'invaso: 27 m³/s

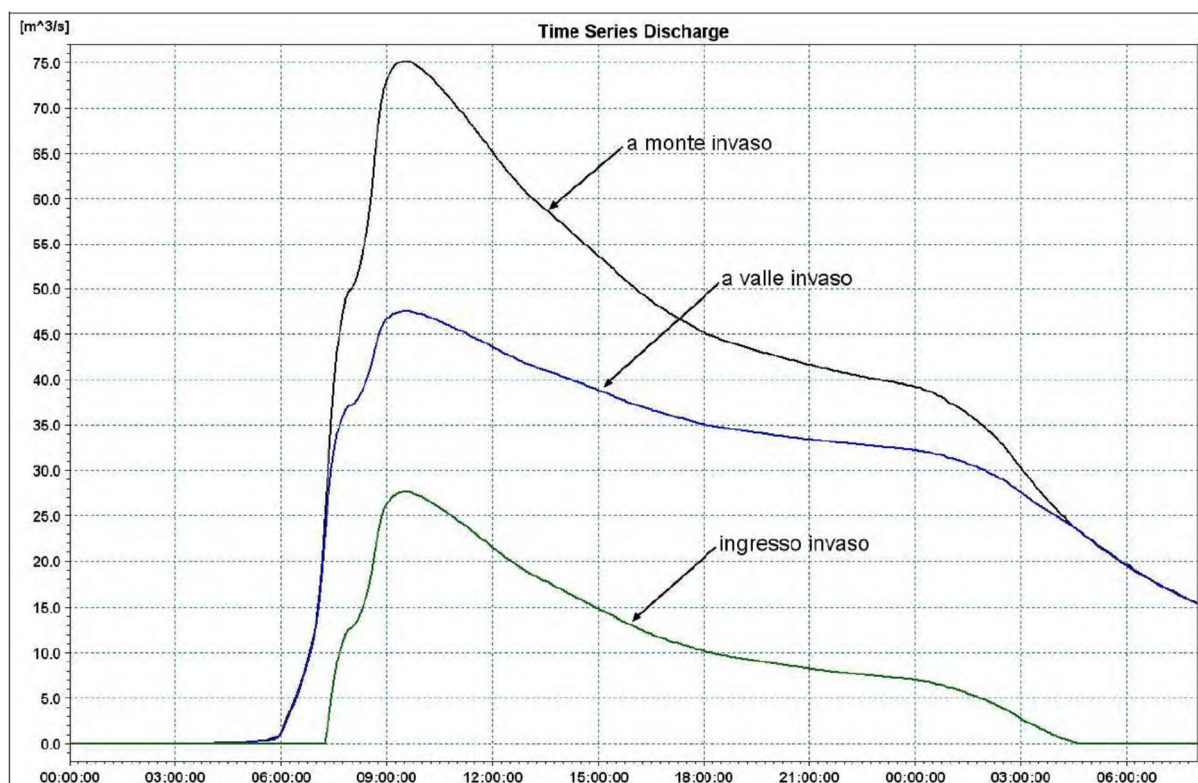


Figura 13 – Invaso di Paderno Dugnano: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

Situazione di progetto a Palazzolo presso la presa del CSNO.

Mentre nella precedente Figura 3 è rappresentato l'idrogramma a 100 anni di tempo di ritorno nell'assetto attuale a monte dell'opera di presa del CSNO, nella seguente Figura 14 è riportata l'onda di piena per T=100 anni, in corrispondenza della medesima sezione, ma relativa all'assetto di progetto, cioè con la presenza di tutti i suddetti invasi di laminazione previsti a monte (in particolare quelli a Lentate sul Seveso, a Varedo e a Paderno Dugnano).

Poiché il valore di colmo è pari a 47 m³/s, l'intero idrogramma può essere scolmato nel CSNO, considerando che la massima capacità del CSNO nel tratto tra l'opera di presa dal Seveso e il T. Garbogera è pari a 60 m³/s. Con ciò si garantisce il soddisfacimento del vincolo di portata nulla nel Seveso, a valle della presa del CSNO, per poter garantire condizioni di sicurezza a valle, con particolare riferimento al tratto in attraversamento della Città di Milano.

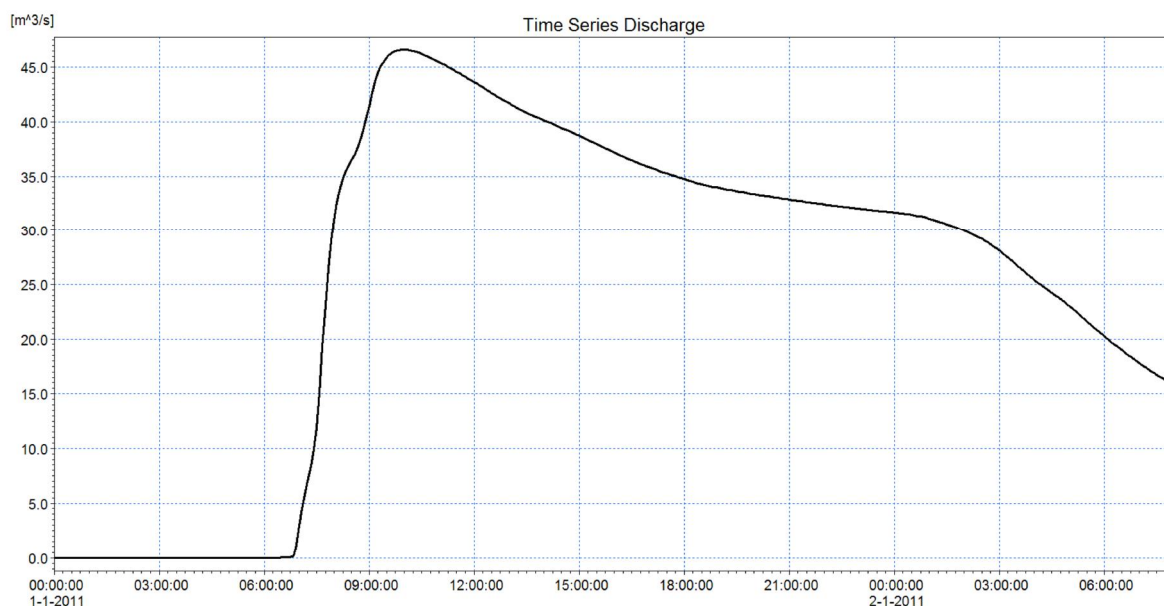




Figura 14 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO – assetto di progetto (tale idrogramma viene scolmato interamente nel CSNO; nel Seveso, a valle della presa del CSNO la portata è nulla).

Considerando poi che la massima capacità del CSNO, pari come detto a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ nel tratto tra l'opera di presa dal Seveso e il T. Garbogera e che, come già detto in precedenza, la portata a monte dell'immissione dello sfioro del T. Garbogera deve essere ridotta a $25 \text{ m}^3/\text{s}$, si ha che, in assenza di opere di laminazione lungo il Seveso, la massima portata che deve essere derivata dal CSNO verso l'invaso di laminazione di Senago è pari a $47 - 25 = 22 \text{ m}^3/\text{s}$.

2.4 FUNZIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO NELL'ASSETTO ATTUALE DEL T. SEVESO (SENZA OPERE DI LAMINAZIONE A MONTE DEL CSNO)

Poiché l'invaso di laminazione di Senago è quello posto più a valle tra tutti quelli previsti nell'assetto di progetto, ma è quello che, secondo gli indirizzi previsti nell'*Accordo di Programma per la salvaguardia idraulica e la riqualificazione dei corsi d'acqua dell'area metropolitana milanese*, verrà realizzato per primo, nel dimensionamento delle opere occorre fare riferimento all'idrogramma di piena relativo all'assetto attuale del T. Seveso, e cioè in assenza di opere di laminazione lungo il Seveso.

Pertanto, per il dimensionamento delle opere dell'invaso di Senago non si deve considerare il valore di portata di $22 \text{ m}^3/\text{s}$ prima citato (portata al colmo nell'assetto di progetto per T=100 anni), ma, considerando che la massima capacità del CSNO nel tratto tra l'opera di presa dal

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Seveso e il T. Garbogera è pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e che, come già detto in precedenza, la portata a monte dell'immissione dello sfioro del T. Garbogera deve essere ridotta a $25 \text{ m}^3/\text{s}$, si ha che, in assenza di altre opere di laminazione a monte lungo il Seveso, la massima portata che deve essere derivata dal CSNO verso l'invaso di laminazione di Senago è pari a $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore di portata viene quindi assunto per il dimensionamento delle opere relative all'invaso di laminazione di Senago, con riferimento alle necessità di laminazione del T. Seveso attraverso il CSNO.

Si sottolinea come i suddetti valori di portata siano validi non solo con riferimento ad un evento di piena centennale, ma essi valgono anche considerando eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno ben inferiori. Infatti, nell'assetto attuale, l'idrogramma di piena a monte della presa del CSNO relativo a 2 anni di tempo di ritorno (Figura 6) è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$, per cui la portata che può essere sfiorata dal Seveso nel CSNO è, anche in questo caso, pari a $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e quindi la portata al colmo che viene poi sfiorata nella vasca di laminazione di Senago è pari a $35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella Figura 15 viene riportato lo schema di ripartizione delle portate tra il T. Seveso, il CSNO e l'invaso di laminazione di Senago.

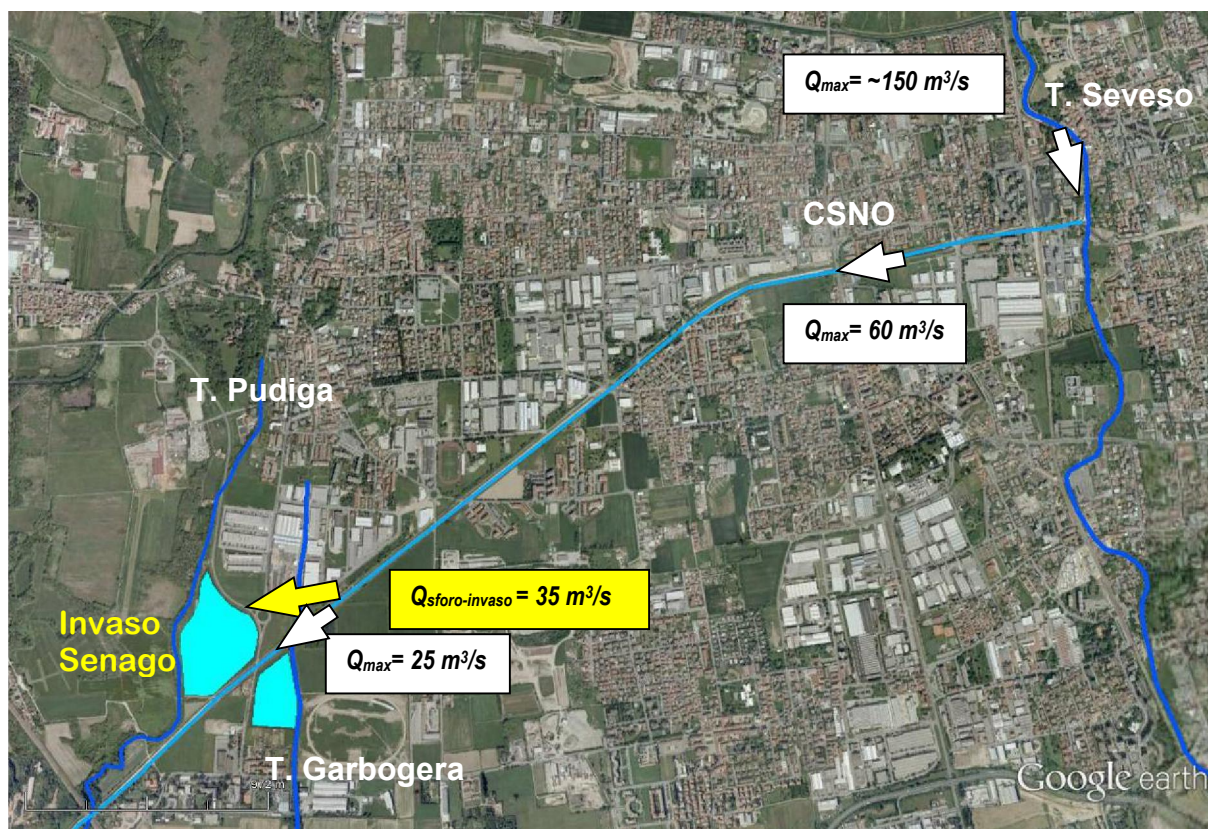


Figura 15 – Schema di ripartizione delle portate centennali tra il T. Seveso, il CSNO e l'invaso di laminazione di Senago nell'assetto attuale del T. Seveso (senza vasche di laminazione a monte del CSNO).

Le analisi che seguono verificano il comportamento della vasca di Senago in differenti scenari di gravità, riferiti ad eventi sia di tempo di ritorno 100 anni sia di minor tempo di ritorno (2, 5, 10 anni), e considerando un volume utile invasabile che, nel rispetto della prescrizione VIA già citata, è pari a 810.000 m³, quindi ridotto di circa 160.000 m³ rispetto al valore di 970.000 m³ considerato nel Progetto Definitivo dell'Ottobre 2014.

2.4.1 Analisi evento per T=100 anni

Poiché nella programmazione generale si prevede che l'invaso in progetto verrà realizzato per primo, nell'assetto attuale in assenza del contributo delle laminazioni previste a monte lungo il Seveso, il volume di laminazione previsto, pari a 810.000 m³, non sarà sufficiente nell'evento centennale di progetto a laminare tutta la porzione dell'onda di piena compresa tra 60 m³/s e 25 m³/s determinata in corrispondenza dell'opera di presa dell'invaso in progetto. Infatti, per un tempo di ritorno pari a 100 anni, il volume di tale onda è pari a poco meno di 2'000'000 m³, come emerge in Figura 16 in cui si riportano gli idrogrammi (per T=100 anni)

relativi all'assetto attuale, nelle seguenti sezioni:

- T. Seveso a monte della presa del CSNO;
- CSNO a monte dell'opera di presa per la vasca di laminazione di Senago;
- CSNO a valle dell'opera di presa per la vasca di laminazione di Senago.

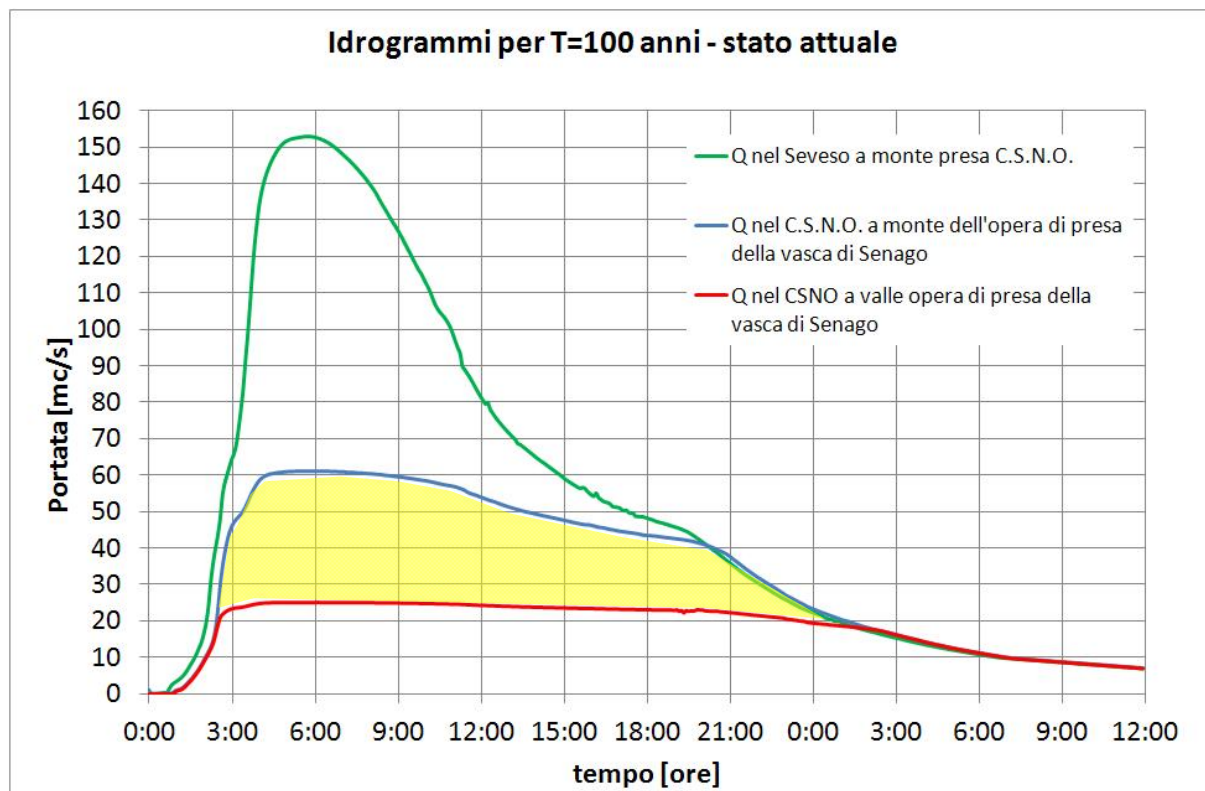





Figura 16 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto attuale. L'area di colore giallo rappresenta la porzione dell'onda di piena compresa tra 60 m³/s e 25 m³/s, caratterizzata da un volume di 2 Mm³.

Pertanto, nella fase in cui sarà presente solo l'invaso oggetto del presente progetto, occorrerà effettuare la regolazione della presa sul T. Seveso a Palazzolo, in modo che prima che l'invaso sia completamente pieno la portata sfiorata nel CSNO sia ridotta, con strozzatura della paratoia ivi già presente, da 60 m³/s (condizioni di progetto con la presenza della vasca di laminazione di Senago) a circa 25 m³/s (nell'assetto di progetto a valle della vasca di laminazione di Senago). Siccome la presa del CSNO a Palazzolo dista dalla vasca di laminazione di Senago circa 3,75 km, nel momento in cui si effettua la suddetta regolazione della luce della paratoia, il volume idrico già entrato nel CSNO (con portata 60 m³/s) deve poter continuare in parte a sfiorare nella vasca di laminazione di Senago (per la quota parte

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

compresa tra 60 e 25 m³/s); tale volume è pari a circa 40'000 m³.

Pertanto, per evitare di alimentare l'invaso di Senago oltre la sua capacità, la suddetta regolazione deve avvenire quando nell'invaso di Senago vi è ancora a disposizione un volume di vaso di almeno 40'000 m³. Ciò corrisponde ad un livello idrico nel secondo settore dell'invaso pari a circa 157.5 m s.m..

Tale regola gestionale è valida non soltanto per un evento di tempo di ritorno pari a 100 anni, ma, in generale, per qualsiasi evento meteorico.

L'obiettivo di garantire nel CSNO, appena a valle dello sfioro di alimentazione della vasca di laminazione di Senago, una portata massima di 25 m³/s, è stato stabilito, come già affermato in precedenza, nell'ambito del 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, al fine di garantire ovunque franchi di sicurezza pari ad almeno 1 m; attualmente la capacità idraulica di riferimento del CSNO a monte dello sfioro del T. Garbogera è pari a 30 m³/s (seppur con alcuni franchi di sicurezza ridotti), per cui è ragionevole ritenere che in attesa della completa realizzazione degli altri interventi di laminazione previsti lungo l'asta del Seveso, si possa considerare pari a 30 m³/s il valore di portata che può proseguire a valle dell'opera di presa della vasca di laminazione di Senago. Con tale ipotesi, il volume dell'idrogramma caratterizzato da un evento di piena centennale, compreso tra 30 e 60 m³/s si riduce a circa 1'600'000 m³, rimanendo comunque superiore al volume di laminazione disponibile.

Nei paragrafi seguenti vengono considerati gli eventi caratterizzati da un tempo di ritorno inferiore.

2.4.2 Analisi evento per T=2 anni

Nella Figura 17 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=2 anni, a monte della presa del CSNO. La parte di idrogramma compresa tra le portate di 60 m³/s e 30 m³/s comprende un volume di circa 700'000 m³ che quindi può essere completamente invasato nella vasca di Senago, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa 5 m³/s e quindi praticamente trascurabile.

Si può pertanto ritenere che nell'evento con tempo di ritorno 2 anni la vasca di laminazione di Senago riesce quasi ad annullare la portata del T. Seveso che prosegue verso Milano.

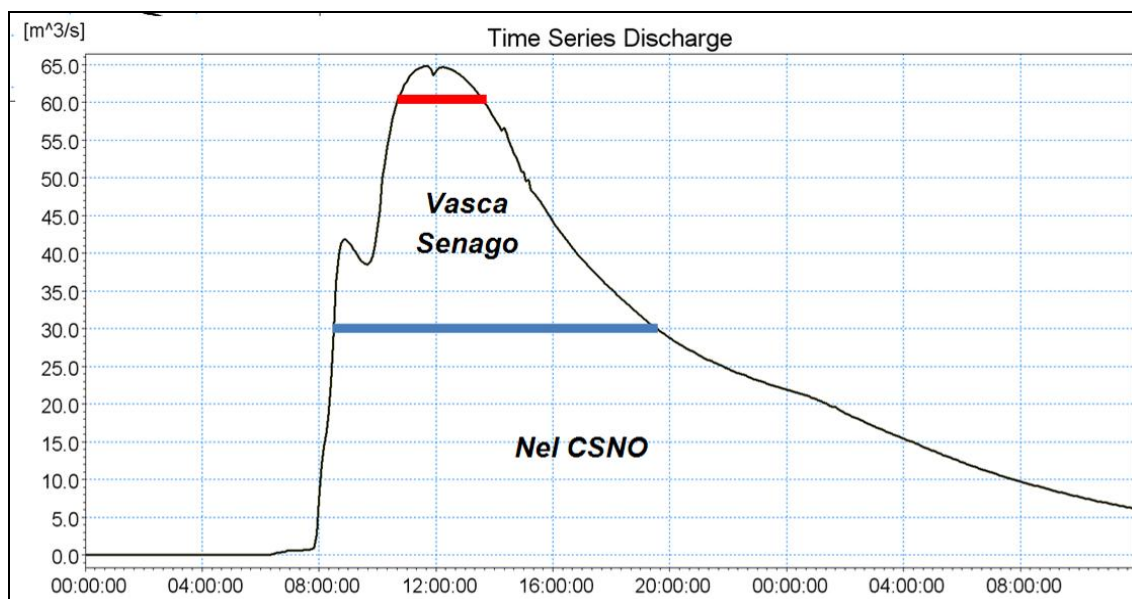


Figura 17 – Analisi evento per T=2 anni

2.4.3 Analisi evento per T=5 anni

Nella Figura 18 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=5 anni, a monte della presa del CSNO. La parte di idrogramma compresa tra le portate di 60 m³/s e 30 m³/s comprende un volume di circa 1'100'000 m³, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa 40 m³/s.

Se, quindi, nella situazione attuale prosegue verso Milano una portata al colmo di circa 70 m³/s, con le vasche di Senago si ottiene una consistente riduzione di tale portata da 70 m³/s a 40 m³/s e del volume che prosegue verso Milano da 1,8 Mm³ a 1,0 Mm³ (-44%).

Emerge quindi che nell'evento con tempo di ritorno 5 anni la sola vasca di laminazione di Senago, pur riducendo significativamente l'onda di piena che prosegue verso Milano, non riesce ad annullare la portata del T. Seveso.

Per ottenere tale obiettivo occorrerebbe disporre di un'ulteriore opera di laminazione a monte di Palazzolo. La parte di idrogramma, superiore a 30 m³/s nel CSNO a valle della laminazione di Senago, che eccede la possibilità di invaso all'interno della vasca di Senago, è pari a circa 1'000'000 m³, per cui con la presenza anche della vasca di laminazione prevista a Paderno Dugnano (volume d'invaso pari a circa 950'000 m³ e portata massima derivabile ipotizzata pari a 40 m³/s) si otterrebbe l'obiettivo di annullare praticamente la portata del T. Seveso che in piena prosegue verso Milano a valle della presa del CSNO.

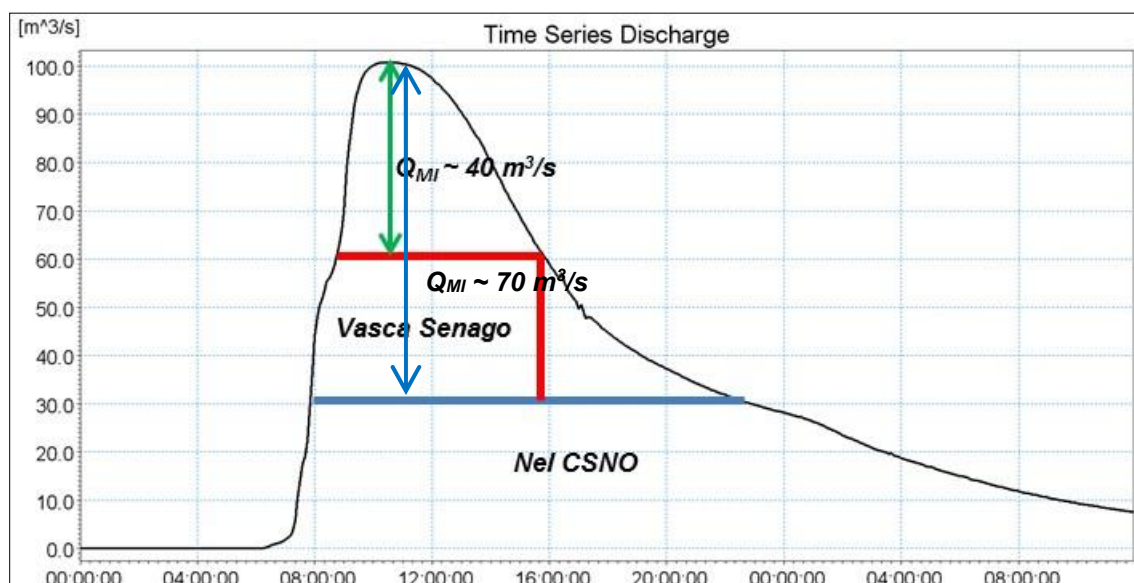


Figura 18 – Analisi evento per T=5 anni

2.4.4 Analisi evento per T=10 anni

Nella Figura 19 è riportato l'idrogramma di piena del T. Seveso per T=10 anni, appena a monte della presa del CSNO. La parte di idrogramma compresa tra le portate di 60 m³/s e 30 m³/s comprende un volume di circa 1'280'000 m³, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa 65 m³/s.

Se, quindi, nella situazione attuale prosegue verso Milano una portata al colmo di circa 95 m³/s, con le vasche di Senago si ottiene una riduzione di tale portata da 95 m³/s a 65 m³/s e una consistente riduzione del volume che prosegue verso Milano da 2,5 Mm³ a 1,7 Mm³ (-32%).

Emerge quindi che, considerando un evento con tempo di ritorno 10 anni, la sola vasca di laminazione di Senago, pur riducendo l'onda di piena che prosegue verso Milano, non può annullare la portata del T. Seveso.

Con l'aggiunta della vasca di laminazione di Paderno Dugnano (volume d'invaso pari a 950'000 m³ e portata massima derivabile ipotizzata pari a 40 m³/s) si otterrebbe l'obiettivo di ridurre la portata del T. Seveso verso Milano a valle della presa del CSNO a valori prossimi a 40÷45 m³/s. Si segnala che un effetto del tutto analogo si otterrebbe con l'invaso di Varedo (volume pari a 1'500'000 m³) al posto di quello di Paderno D. In questo caso la portata che

prosegue verso Milano sarebbe prossima a $20 \text{ m}^3/\text{s}$.

Pertanto, per ottenere l'annullamento della portata verso Milano con un evento caratterizzato da 10 anni di tempo di ritorno, occorrerebbe disporre di una terza opera di laminazione delle piene.

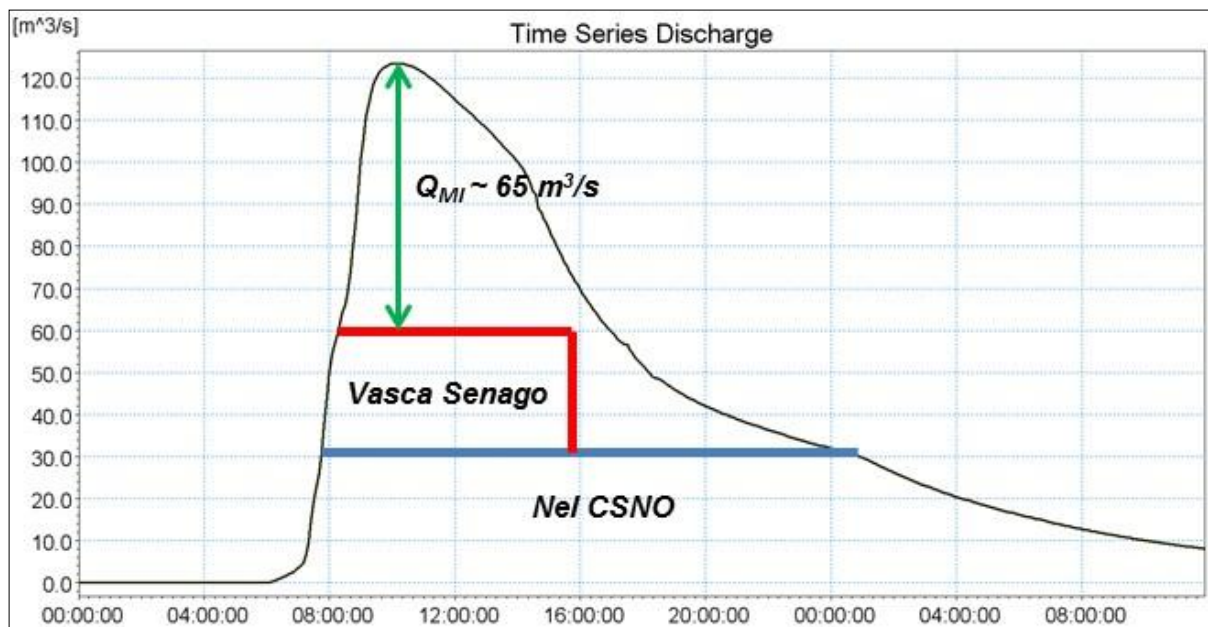


Figura 19 – Analisi evento per T=10 anni

2.5 FUNZIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO NELL'ASSETTO DI PROGETTO DEL T. SEVESO (CON OPERE DI LAMINAZIONE A MONTE DEL CSNO)

Nella Figura 20 sono riportati gli idrogrammi di piena in corrispondenza dell'invaso di Senago (a monte, a valle e in ingresso all'invaso).

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 obiettivo quello di garantire nel CSNO nella sezione immediatamente a monte dell'immissione dello sfioro del T. Garbogera (appena a valle dello sfioro di alimentazione della vasca di laminazione di Senago), una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$, la porzione di idrogramma che dovrebbe essere sfiorato nell'invaso di Senago, nell'assetto di progetto, è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $22 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume di circa

1'000'000 m³.

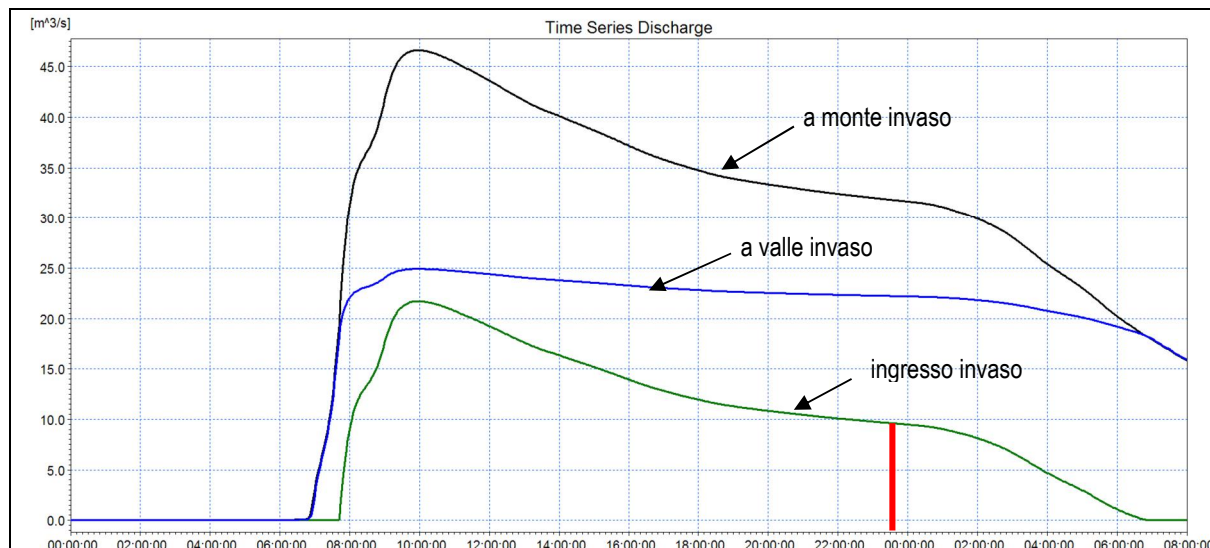


Figura 20 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto. L'area sottesa dall'onda "ingresso invaso" rappresenta un volume da laminare, pari a circa 0.97 Mm³. Il segno rosso delimita la parte di idrogramma compatibile con la vasca in progetto (810.000 m³).

Poiché il volume utile della vasca di laminazione è pari a 810.000 m³, la Figura 20 mostra come nell'istante del pieno riempimento, quindi quando si esaurisce la possibilità di immissione nella vasca, la portata nel CSNO è scesa a circa 32 m³/s, quindi pressoché confrontabile con quella attualmente compatibile. Per una maggior garanzia occorrerebbe disporre di vasche di laminazione a monte di Palazzolo di maggior volume rispetto a quelle qui considerate, derivate dall'assetto previsto nello *Studio-AIPo-2011*, in modo da compensare la riduzione del volume della vasca di Senago imposto dalla prescrizione VIA.

3. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE GARBOGERA

3.1 ASSETTO ATTUALE

Il torrente Garbogera nasce dalle colature del Comune di Lentate sul Seveso e dopo circa 23 km si immette nella fognatura di Milano in corrispondenza della Via Bovisasca.

Il bacino idrografico del T. Garbogera ha un'estensione di circa 18 kmq, di cui 11 kmq in territori urbanizzati (61%).




Caratterizzato da un bacino stretto e lungo, è sostanzialmente il collettore di acque meteoriche urbane, in quanto la maggior parte del territorio attraversato è urbanizzato e provvisto di sistemi di drenaggio: l'alveo è spesso contenuto tra muri arginali e lunghi tratti canalizzati, a volte tombinato, come in Comune di Bollate, dove esiste un lungo tratto in sotterraneo. Un altro tratto consistente tombato è in Comune di Novate. All'inizio della fognatura milanese il Garbogera imbocca un collettore di diametro 2 metri con capacità massima di 3.3 m³/s. A Senago il Garbogera interseca il CSNO nel quale sfiora per mezzo di uno scolmatore una parte della portata di piena.

Nel tratto montano la sezione d'alveo è in grado di contenere anche portate con tempo di ritorno elevato. Anche a valle del sifone con cui il Garbogera sottopassa il Canale Villoresi non si riscontrano particolari criticità ed in particolare il lungo tratto tombinato che attraversa il Comune di Senago è sufficiente a far defluire verso valle con franchi adeguati le portate transitanti.

In corrispondenza del manufatto di sfioro delle portate nel CSNO si verificano alcuni allagamenti non particolarmente rilevanti. Appena a valle del Canale Scolmatore nei pressi della C.na Traversagna in comune di Bollate si verificano alcuni allagamenti in particolare in sinistra idrografica.

Il tratto tombinato che attraversa il Comune di Bollate non presenta particolari criticità in quanto la sezione sembra essere sufficiente per le portate calcolate. Invece appena a valle dell'abitato di Bollate in corrispondenza dell'attraversamento della Superstrada Rho-Monza si verificano allagamenti abbastanza estesi causati dal ponte stesso, il quale presenta una sezione assolutamente inadeguata.

Un'altra criticità è costituita dal tratto tombinato di Novate Milanese. Sia a monte che a valle del tratto tombinato, in corrispondenza di un evento con tempo di ritorno 100 anni, si

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

verificano aree di allagamento estese. In particolare risultano interessati dall'allagamento l'intero centro sportivo ed alcune case limitrofe, mentre a valle del tratto tombinato gli allagamenti si estendono fino alla tratta ferroviaria Varese-Milano coinvolgendo diversi campi.

In questo tratto, appena a valle dell'Autostrada A4 MI-VE l'alveo ha dimensioni molto ridotte; la sezione risulta infatti quasi interamente occupata da orti abusivi. Inoltre le sponde risultano praticamente assenti e la sezione di deflusso è inferiore ai 2 mq. Causa dell'allagamento risulta essere anche la sezione ristretta del tratto tombinato che si immette nella fognatura milanese.

Dal quadro d'insieme dello stato attuale delle cose, appare evidente come, anche in questo caso, i vincoli imposti dall'urbanizzazione, in particolare nel Comune di Novate M., lascino possibilità assai ridotte per interventi di adeguamento delle sezioni d'alveo.

Per conseguire il richiesto grado di sicurezza delle aree abitate oggi soggette a frequenti allagamenti, risultano tuttavia assolutamente indispensabili soluzioni atte a ridurre la portata (scolmatori, diversivi, invasi, ecc.) entro i valori compatibili con i manufatti e l'edificazione presenti.

Nella Figura 21 sono riportati gli idrogrammi di piena per alcuni valori del tempo di ritorno, in corrispondenza della sezione a monte del manufatto di scolmo nel CSNO, posta in prossimità dell'invaso di laminazione di Senago.

Nella Figura 22, invece, è riportato uno stralcio dello schema funzionale del reticolo di studio nelle condizioni attuali per l'evento di piena di riferimento ($T=100$ anni) relativamente al T. Garbogera, estratto dallo studio di fattibilità AdBPo-2004, da cui si evince che la portata al colmo a monte del CSNO è pari a $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$, e la parte che viene scolmata nel CSNO è pari a $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre quella che prosegue verso valle è pari a $6,2 \text{ m}^3/\text{s}$. Infine, la portata in ingresso al tratto tombinato in Milano è pari a $6,8 \text{ m}^3/\text{s}$, a fronte di una capacità massima di $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

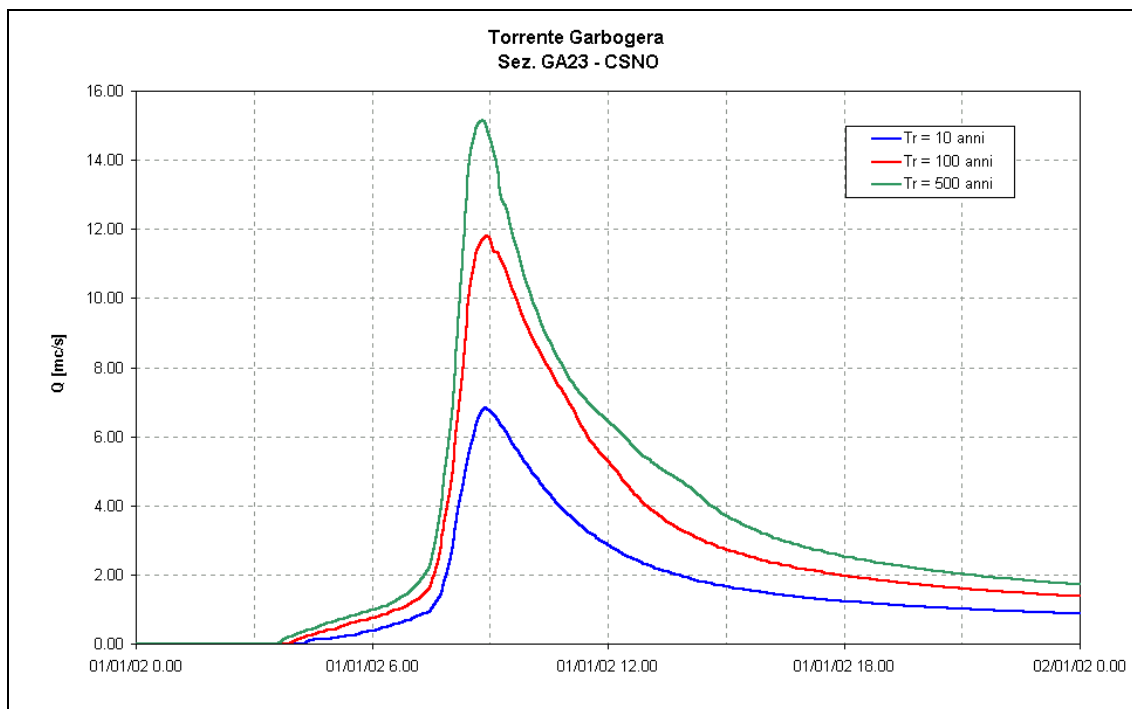


Figura 21 – Idrogrammi di piena del T. Garbogera nelle condizioni attuali a monte del CSNO, nei pressi dell'invaso di laminazione di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

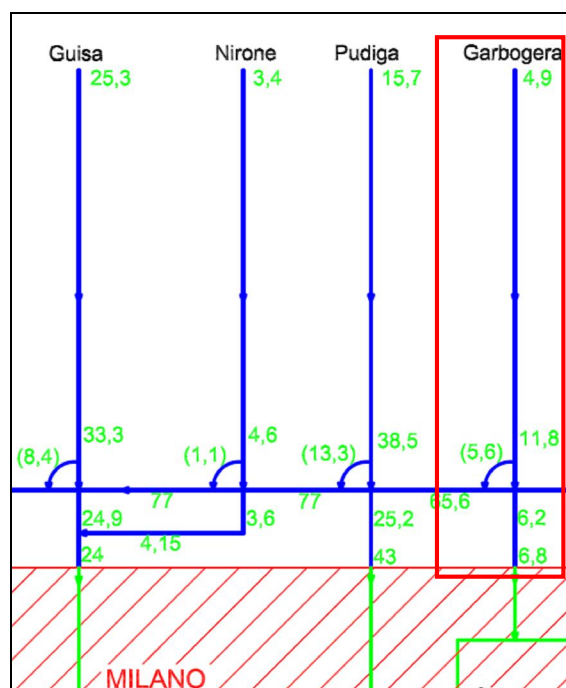


Figura 22 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nelle condizioni attuali per gli eventi di piena di riferimento (T=100 anni) (fonte: Studio-AdBPo 2004)

3.2 ASSETTO DI PROGETTO

L'analisi delle criticità presenti lungo il torrente Garbogera ha permesso di individuare una serie di interventi possibili lungo il corso d'acqua al fine di individuare l'assetto di progetto ottimale.

L'assetto di progetto del T. Garbogera si basa sui seguenti principi:

1. la portata massima compatibile del T. Garbogera nella sezione terminale, all'imbocco della tombinatura di Milano, è pari a $3.3 \text{ m}^3/\text{s}$;
2. la portata compatibile del tratto che va dal CSNO all'imboccatura della fognatura di Milano, a causa della presenza di vari manufatti quali ponti e tombini insufficienti intimamente legati al tessuto urbano, è pari a circa $4 \text{ m}^3/\text{s}$;
3. occorre mantenere invariata, rispetto allo stato attuale, la portata scaricata dal T. Garbogera nel CSNO; nella situazione attuale, per la piena di riferimento, a fronte di una portata che giunge da monte allo sfioratore di $11,8 \text{ m}^3/\text{s}$, ne vengono derivati $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre la restante parte ($6.2 \text{ m}^3/\text{s}$) prosegue verso Milano. Quanto sopra, unito all'esigenza di limitare a valori inferiori a $4 \text{ m}^3/\text{s}$ le portate in transito verso Milano, contribuiscono a fissare in circa $9 \text{ m}^3/\text{s}$ la portata di progetto a monte dello sfioratore in CSNO.
4. anche limitando al minimo le portate non derivate al CSNO, nel successivo tratto il contributo dei bacini naturali afferenti, che risulta globalmente di circa $8.5 \text{ m}^3/\text{s}$, fa sì che non siano rispettate le necessarie condizioni di portata all'imbocco della tombinatura di Milano.

Per ottenere il rispetto dei vincoli precedentemente esposti, occorre realizzare sia nel tratto a monte del CSNO che appena a valle dello stesso delle vasche di laminazione che riducano i colmi della piena di riferimento, nonché una derivazione di una ulteriore porzione nel contiguo torrente Pudiga, a monte di Novate.

Nello studio di fattibilità AdBPo-2004 sono stati previsti i seguenti interventi:

- vasca di laminazione in sponda destra poco a monte dell'ingresso nella tombinatura di Limbiate, caratterizzata da un volume pari a $15'000 \text{ m}^3$. Tale opera di laminazione consente di ridurre la portata da $7.2 \text{ m}^3/\text{s}$ a $4.6 \text{ m}^3/\text{s}$;
- vasca di laminazione in sponda sinistra poco a valle dell'intersezione con il CSNO, in territorio comunale di Senago, caratterizzata da un volume di $100'000 \text{ m}^3$. Tale opera di laminazione consente di ridurre la portata da $4.8 \text{ m}^3/\text{s}$ a $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$;

- scolmatore per la derivazione di 5.5 m³/s ulteriori dal T. Garbogera nel T. Pudiga, nella zona a ridosso del limite comunale tra Bollate e Novate, in modo da ridurre le portate in transito da 6.6 m³/s a 1.0 m³/s.

Nella Figura 23 è riportato uno stralcio dello schema funzionale del reticolo di studio nell'assetto di progetto per l'evento di piena di riferimento (T=100 anni) relativamente al T. Garbogera, estratto dallo studio di fattibilità AdBPo-2004, da cui si possono riscontrare gli effetti indotti dalle opere di laminazione (pallini rossi) e l'entità delle portate obbiettivo.

Nella Figura 24 e nella Figura 25, invece, sono riportati degli stralci della cartografia dell'assetto di progetto del T. Garbogera dell'AdBPo, con indicate le vasche di laminazione previste nel detto studio a Limbiate e a Senago.

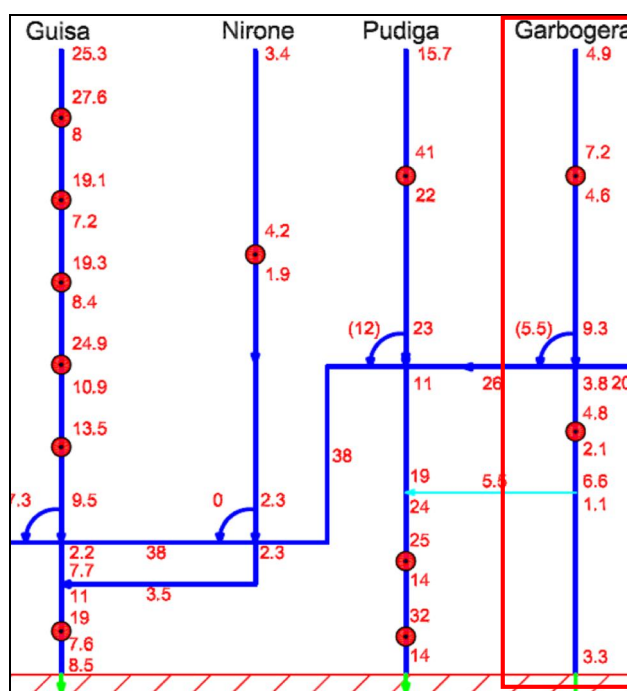
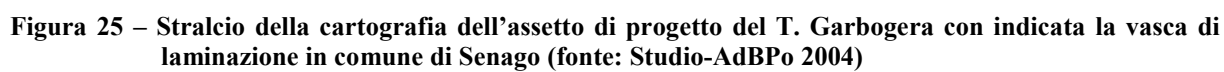
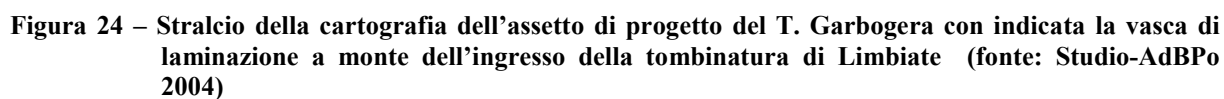





Figura 23 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nell'assetto di progetto per gli eventi di piena di riferimento (T=100 anni). I pallini rossi si riferiscono alle opere di laminazione previste nell'assetto di progetto (fonte: Studio-AdBPo 2004)



A.T.P.:				Consulenti:	
		Studio Associato di Geologia Spada	Dott. Ing. C. Tonetto		Prof. Dott. V. Mezzanotte

Le due opere di laminazione hanno lo scopo di ridurre la portata del T. Garbogera, unitamente all'effetto indotto dallo sfioro nel CSNO (pari a $5,5 \text{ m}^3/\text{s}$) , a $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ a partire dalla sezione GA-19.

Per l'opera di laminazione ubicata a monte di Limbiate, secondo quanto indicato nello studio AdBPo-2004 si ha che: *“I benefici idraulici indotti dall'intervento in oggetto non riguardano il primo tratto omogeneo, nel quale l'intervento è inserito, ma i tratti più a valle, in quanto la vasca è localizzata quasi alla fine del primo tratto omogeneo; d'altro canto, in considerazione dell'elevato livello di urbanizzazione del territorio attraversato più a valle dal corso d'acqua, risulta estremamente difficile l'individuazione di ulteriori spazi utili ai fini della creazione di un adeguato volume di laminazione. In ogni caso, la riduzione di portata conseguente all'intervento è tale da garantire alla presa per il CSNO (localizzata circa 5,0 km più a valle) valori di portata compatibili con i limiti imposti alla derivazione e, in parte, dalla capacità di deflusso del tratto di Garbogera a valle del CSNO stesso. Evidentemente, la vasca di Limbiate non sarà in grado, da sola, di mettere in sicurezza tutto il tratto di corso d'acqua compreso tra il CSNO e la tombinatura di Milano, per cui si ha l'esigenza degli ulteriori interventi sopracitati; però è indispensabile che l'abbattimento del picco di portata cominci quanto prima possibile, per non avere più a valle onde di piena caratterizzate da volumi considerevoli, e quindi di difficile gestione.”.*

Pertanto, lo scopo principale di tale opera di laminazione è quello di contribuire alla riduzione della portata di piena per poter rispettare il vincolo imposto dalla tombinatura di Milano.

La seconda vasca di laminazione del T. Garbogera, prevista in Comune di Senago, è posta praticamente nella stessa zona dove si è deciso di realizzare le opere di laminazione delle piene del T. Seveso in progetto.

In relazione a quanto sopra, si è ritenuto di utilizzare la vasca di laminazione prevista per il T. Seveso anche per laminare le piene del T. Garbogera, evitando così di realizzare le altre due opere di laminazione previste nello studio AdBPo-2004. Nel paragrafo seguente si riportano i calcoli eseguiti per determinare l'idrogramma di piena che dal T. Garbogera deve essere sfiorato nella vasca di Senago per ottenere, a valle dello scolmo nel CSNO una portata al colmo pari a $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.3 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. GARBOGERA

L'idrogramma di piena di riferimento (T=100 anni), a monte della vasca di laminazione di Senago e a monte dell'opera di scolmo nel CSNO, è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $11.8 \text{ m}^3/\text{s}$, e siccome la massima portata che può essere scolmata nel CSNO è pari a $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$, per ottenere a valle una portata al colmo pari a $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ è necessario derivare verso la vasca di laminazione di Senago una portata al colmo pari ad almeno $4.2 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella Figura 26 sono riportati gli idrogrammi di piena, ottenuti attraverso l'uso del modello idrologico-idraulico dell'AdBPo, opportunamente modificato per tenere conto della derivazione di una porzione dell'onda di piena nella vasca di laminazione in progetto (nella Figura 27 è riportato lo schema di tale modello di calcolo), da cui si ricava l'onda da considerare come riferimento per il dimensionamento dell'invaso di laminazione di Senago, in relazione all'apporto proveniente dal T. Garbogera. Tale onda è caratterizzata da una portata al colmo pari a circa $5 \text{ m}^3/\text{s}$ e da un volume pari a circa $40'000 \text{ m}^3$ (pari al 4% dell'intero volume d'invaso disponibile nell'area di laminazione di Senago e pari al 18% del volume d'invaso del I lotto, pari a $220'000 \text{ m}^3$).

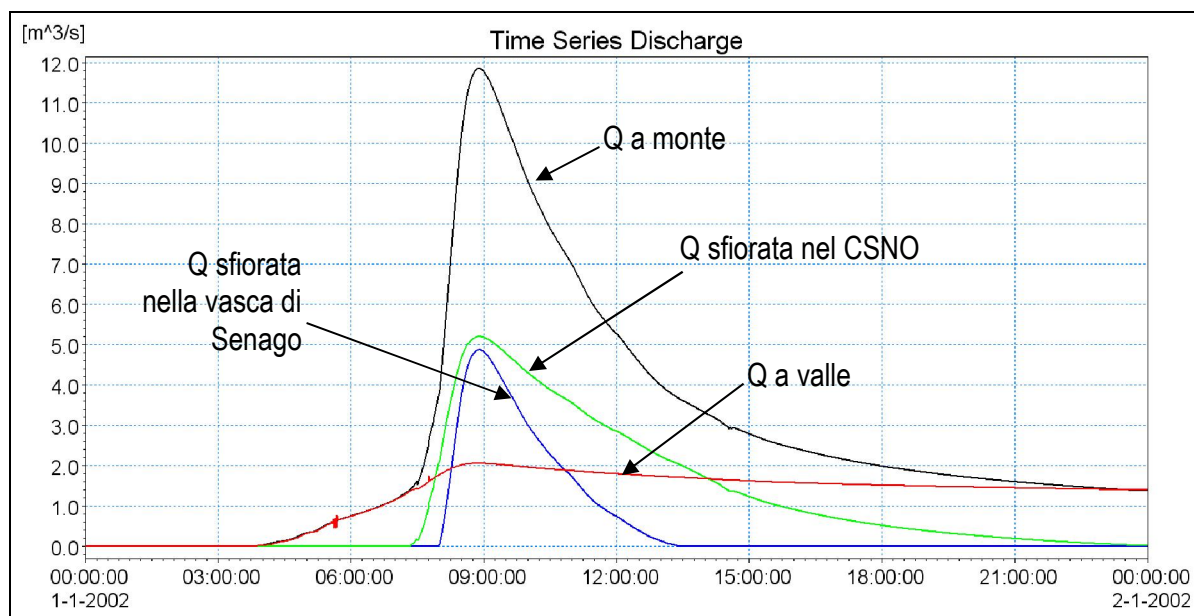


Figura 26 – Idrogrammi di piena del T. Garbogera presso la presa della vasca di laminazione di Senago

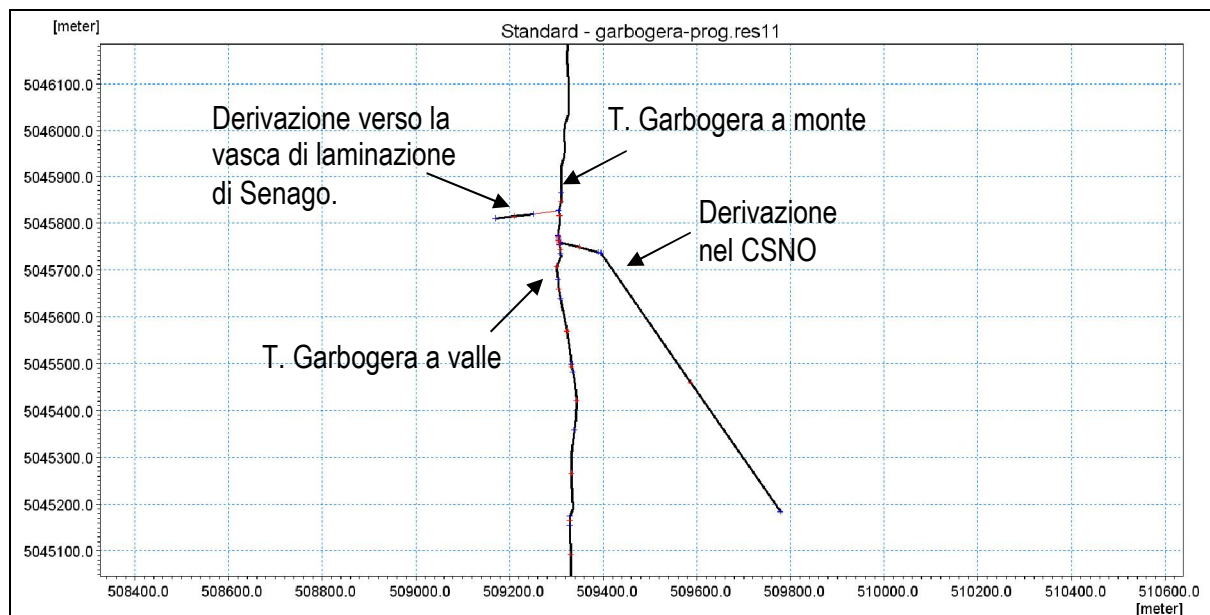




Figura 27 – Schema del modello di calcolo del T. Garbogera presso la derivazione nella vasca di laminazione di Senago e dell'opera di scolmo nel CSNO

Il volume di laminazione necessario, pari a 40'000 m³, è inferiore rispetto a quanto previsto nello studio dell'AdBPo, pari a 115'000 m³ (in realtà il modello dell'AdBPo fornisce valori dell'idrogramma sfiorato pari a circa 13'400 m³ nell'invaso di Limbiate e 81'600 m³ nell'invaso di Senago, per un totale di 95'000 m³). Tale differenza deriva essenzialmente dal fatto che l'opera di sfioro qui proposta è ben più efficiente rispetto a quella schematizzata nello studio dell'AdBPo, essendosi previsto nel progetto a valle dello sfioro un restringimento.

Per ottenere un quadro delle possibili evenienze, si sono modellati anche eventi di tempo di ritorno sia minore che maggiore di quello di 100 anni assunto come evento di riferimento dall'Autorità di Bacino.

Considerando un evento di piena caratterizzato da 10 anni di tempo di ritorno (portata al colmo dell'onda a monte del CSNO pari a circa 7 m³/s), la portata al colmo sfiorata verso l'invaso di Senago si riduce a meno di 2 m³/s e il volume conseguente a circa 7'500 m³.

Invece per un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 500 anni, in cui la portata al colmo dell'onda a monte del CSNO è pari a circa 15 m³/s, la portata al colmo sfiorata verso l'invaso di Senago risulta essere pari a circa 7 m³/s e il volume conseguente a circa 61'000 m³.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

4. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE PUDIGA

4.1 ASSETTO ATTUALE

Il torrente Pudiga nasce a ovest di Barlassina, come torrente Lombra, e successivamente, alla confluenza con il suo affluente di destra Cissara, prende il nome di Pudiga. Attraversa i comuni di Cesate, Garbagnate Milanese, Senago, Bollate e Novate. E' anche conosciuto come torrente Fugone, o anche Mussa.

Il bacino idrografico del T. Pudiga ha un'estensione di circa 27 kmq, di cui 15 kmq in territori urbanizzati (55%).

Il T. Pudiga si sviluppa da nord verso sud con bacino stretto e lungo attraversando il Parco delle Groane. Interseca il CSNO in comune di Senago e in esso scolma una parte delle portate di piena, dopodiché attraversa il Comune di Bollate in un lungo tratto in sotterraneo, per poi ritornare a cielo aperto e attraversare il Comune di Novate. In Comune di Milano entra quindi definitivamente in tombinatura, e confluisce in Olona approssimativamente a Piazza Stuparich. Ha la caratteristica di essere, soprattutto nel tratto terminale, regimato in lunghi tratti canalizzati, e con funzione prevalente di collettore di scarichi fognari meteorici di tutti i Comuni interessati dal suo passaggio.

Nei tratti montani, sia per il Torrente Lombra che per il Cissara non si verificano allagamenti rilevanti e i manufatti risultano essere tutti sostanzialmente adeguati alle normative. In corrispondenza dell'attraversamento del CSNO e poco più a valle, in corrispondenza dell'attraversamento della linea ferroviaria Milano-Saronno, si creano allagamenti sia in sinistra che in destra idrografica. Il tombino risulta funzionare in pressione anche per tempi di ritorno non particolarmente elevati.

Il tratto tombinato del Comune di Bollate risulta fortemente sottodimensionato, infatti il funzionamento idraulico avviene in pressione creando ampi allagamenti al suo imbocco.

I manufatti a valle dell'abitato di Bollate, protetti dai sopraddetti allagamenti di monte, risultano avere tutti franco insufficiente ma non creano problemi di allagamenti.

Risulta evidente che a parte alcune situazioni critiche puntuali, l'alveo del Pudiga risulta sostanzialmente in grado di contenere portate anche con tempo di ritorno elevato. Il reale problema risulta dunque imposto dal limite di portata dalla tombinatura di Milano e pertanto le proposte di intervento perseguono tale fine. Anche ipotizzando di scolmare quanta più portata possibile verso il CSNO bisogna comunque far fronte ai numerosi scaricatori di piena

urbani che si immettono nel torrente a valle dello scolmatore. Gli scaricatori di piena dei Comuni di Bollate e Novate M. sono molto significativi. Basti pensare che i due scarichi di Bollate risultano immettere nel corso d'acqua una portata pari rispettivamente a 7.0 e 11.9 m³/s e che il solo scarico di Novate M. raggiunge i 20 m³/s. Fortunatamente però, a causa dei diversi tempi di percorrenza della rete fognaria rispetto al corso d'acqua, i colmi degli scarichi fognari normalmente non si sovrappongono. Risultano dunque necessarie od opere di laminazione da effettuare direttamente sul corso d'acqua o eventualmente mediante vasche volano sulla rete fognaria.

Nella Figura 28 sono riportati gli idrogrammi di piena per alcuni valori del tempo di ritorno, in corrispondenza della sezione a monte del manufatto di scolmo nel CSNO, posta in prossimità dell'invaso di laminazione di Senago.

Nella Figura 29, invece, è riportato uno stralcio dello schema funzionale del reticolo di studio nelle condizioni attuali per l'evento di piena di riferimento (T=100 anni) relativamente al T. Pudiga, estratto dallo studio di fattibilità AdBPo-2004, da cui si evince che la portata al colmo a monte del CSNO è pari a 38,5 m³/s, e la parte che viene scolmata nel CSNO è pari a 13,3 m³/s, mentre quella che prosegue verso valle è pari a 25,2 m³/s. Infine, la portata in ingresso al tratto tombinato in Milano è pari a 43 m³/s.

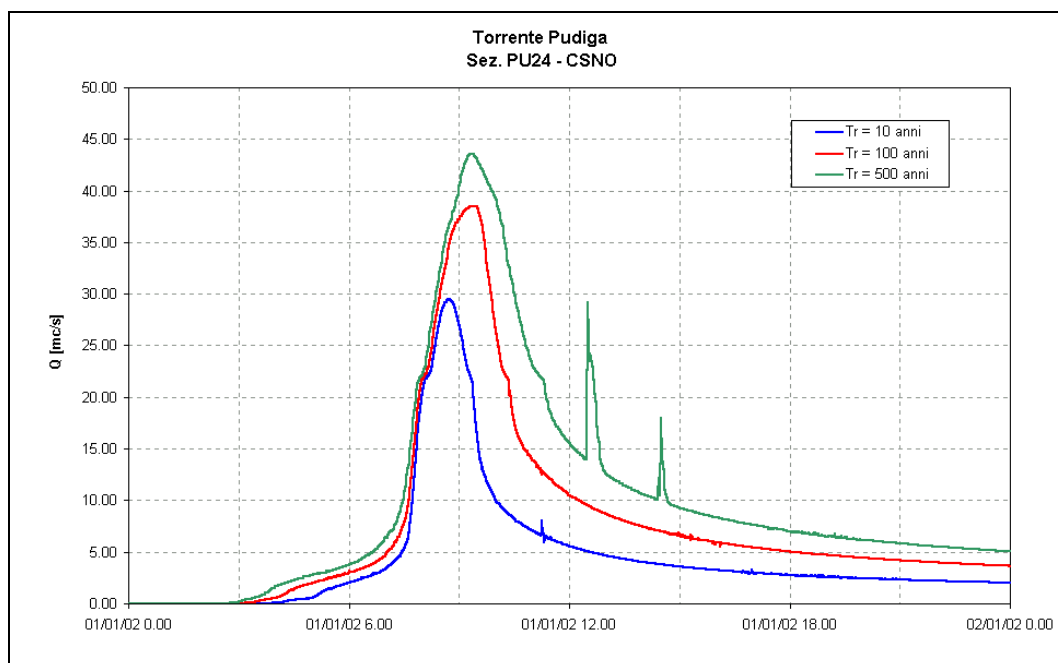


Figura 28 – Idrogrammi di piena del T. Pudiga a monte del CSNO nelle condizioni attuali, nei pressi dell'invaso di laminazione di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

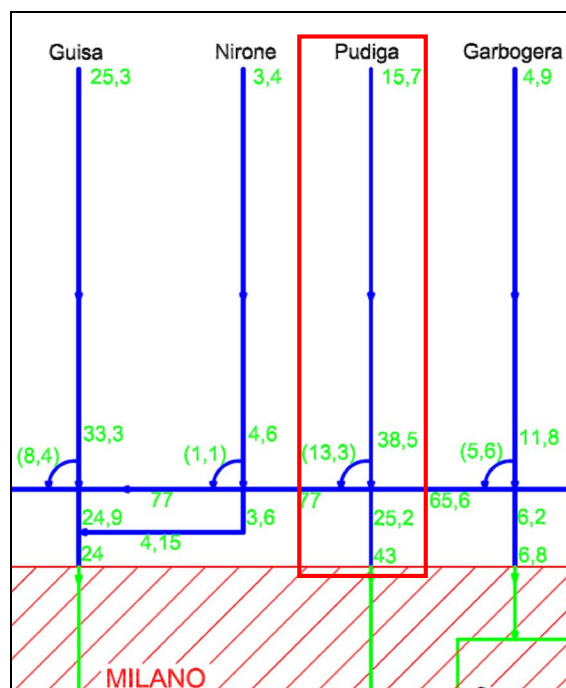


Figura 29 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nelle condizioni attuali per gli eventi di piena di riferimento (T=100 anni) (fonte: Studio-AdBPo 2004)

4.2 ASSETTO DI PROGETTO

L'analisi delle criticità presenti lungo il torrente Pudiga ha permesso di individuare una serie di interventi possibili lungo il corso d'acqua al fine di individuare l'assetto di progetto ottimale.

L'assetto di progetto del T. Pudiga si basa sui seguenti principi:

1. *per difendere adeguatamente la città di Milano e di Bollate dalle esondazioni per eventi di piena fino a 100 anni di tempo di ritorno, occorrono interventi di riduzione delle portate in arrivo, che non possono esclusivamente essere localizzati nel tratto terminale del torrente;*
2. *la portata massima della sezione terminale del T. Pudiga, condizionata dalla capacità idraulica del tratto tombinato del fiume Olona in Milano dove il T. Pudiga confluisce, deve essere ridotta a $14,0 \text{ m}^3/\text{s}$;*
3. *occorre mantenere sostanzialmente inalterata la portata massima derivata dal T. Pudiga nel CSNO rispetto a quella attuale.*

Per ottenere le riduzioni di portata necessarie ad ottenere all'imbocco delle tombinature di Milano e di Bollate, ed in corrispondenza della derivazione del CSNO, le portate ottimali a realizzare un efficiente assetto di progetto, occorre realizzare delle idonee vasche di

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

laminazione.

Nello studio di fattibilità AdBPo-2004 sono stati previsti i seguenti interventi:

- vasca di laminazione in sponda sinistra del Pudiga (in corrispondenza della sezione PU27), in Comune di Senago, per un volume di circa 100.000 m³, al fine di contenere il colmo della piena a monte dello scolmatore nel CSNO. Tale opera di laminazione consente di ridurre la portata da 41 m³/s a 23 m³/s;
- vasca di laminazione in sponda destra, in territorio comunale di Bollate, caratterizzata da un volume di 100'000 m³. Tale opera di laminazione consente di ridurre la portata da 24 m³/s a 14 m³/s;
- vasca di laminazione in sponda destra, in territorio comunale di Bollate, caratterizzata da un volume di 100'000 m³. Tale opera di laminazione consente di ridurre la portata da 32,0 m³/s a 14,0 m³/s.

Nella Figura 30 è riportato uno stralcio dello schema funzionale del reticolo di studio nell'assetto di progetto per l'evento di piena di riferimento (T=100 anni) relativamente al T. Pudiga, estratto dallo studio di fattibilità dell'Autorità di bacino del fiume Po, da cui si possono riscontrare gli effetti indotti dalle opere di laminazione (pallini rossi) e l'entità delle portate obbiettivo.

Nella Figura 31, invece, è riportato lo stralcio della cartografia dell'assetto di progetto del T. Pudiga dell'AdBPo, con indicata la vasca di laminazione prevista nel detto studio a Senago. Come si evince, tale vasca di laminazione è posta all'interno di una delle aree interessate dalle opere in progetto.

Si evidenzia, inoltre, che nell'assetto di progetto dell'AdBPo non sono previsti ulteriori interventi di difesa nel tratto di asta posta nell'intorno della vasca di laminazione in progetto.

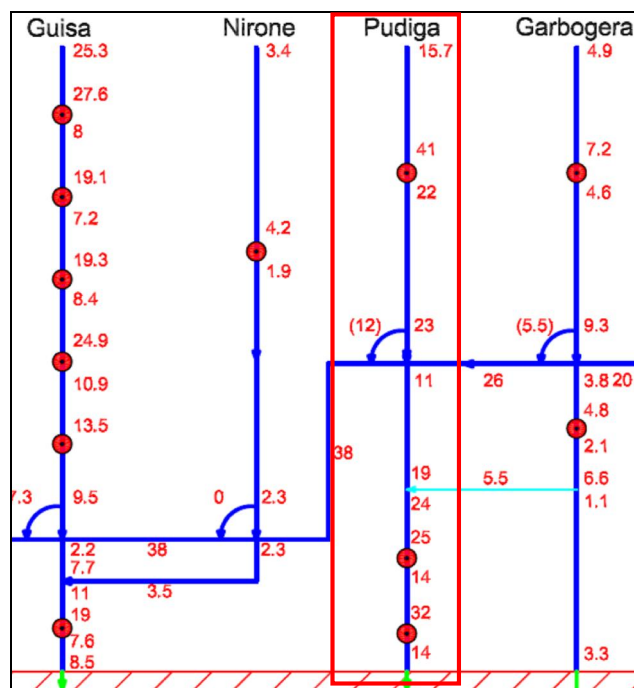


Figura 30 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nell'assetto di progetto per gli eventi di piena di riferimento ($T=100$ anni). I pallini rossi si riferiscono alle opere di laminazione previste nell'assetto di progetto (fonte: Studio-AdBPo 2004)

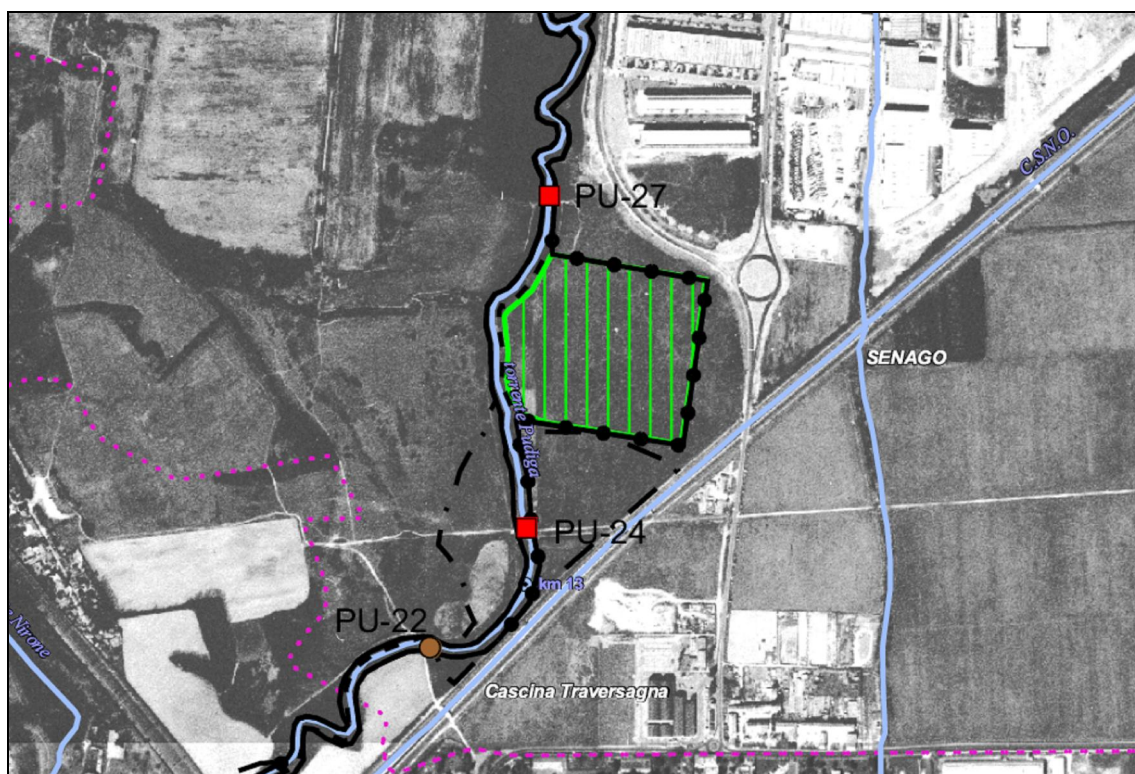





Figura 31 – Stralcio della cartografia dell'assetto di progetto del T. Pudiga con indicata la vasca di laminazione in comune di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

In relazione a quanto sopra, si è ritenuto di utilizzare la vasca di laminazione prevista per il T. Seveso anche per laminare le piene del T. Pudiga. Nel paragrafo seguente si riportano i calcoli eseguiti per determinare l'idrogramma di piena che dal T. Pudiga deve essere sfiorato nella vasca di Senago per ottenere, a valle dello scolmo nel CSNO una portata al colmo pari a 11 m³/s.

4.3 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. PUDIGA

L'idrogramma di piena di riferimento (T=100 anni), a monte della vasca di laminazione di Senago e a monte dell'opera di scolmo nel CSNO, è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa 41 m³/s, e siccome la massima portata che può essere scolmata nel CSNO è pari a 12 m³/s, per ottenere a valle una portata al colmo pari a 11 m³/s è necessario derivare verso la vasca di laminazione di Senago una portata al colmo pari ad almeno 18 m³/s.

Nella Figura 32 sono riportati gli idrogrammi di piena, ottenuti attraverso l'uso del modello idrologico-idraulico dell'AdBPo, opportunamente modificato per tenere conto della derivazione di una porzione dell'onda di piena nella vasca di laminazione in progetto (nella Figura 33 è riportato lo schema di tale modello di calcolo), da cui si ricava l'onda da considerare come riferimento per il dimensionamento dell'invaso di laminazione di Senago, in relazione all'apporto proveniente dal T. Pudiga. Tale onda è caratterizzata da una portata al colmo pari a circa 18 m³/s e da un volume pari a circa 100'000 m³ (pari al 10% dell'intero volume d'invaso disponibile nell'area di laminazione di Senago e pari al 45% del volume d'invaso del I lotto, pari a 220'000 m³).

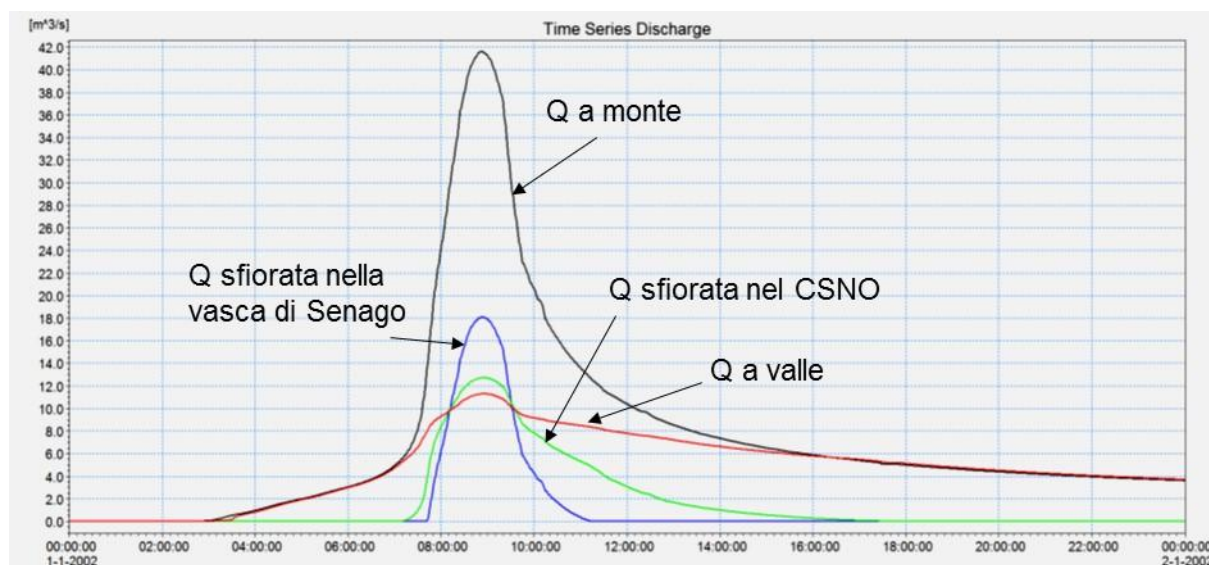


Figura 32 – Idrogrammi di piena del T. Pudiga presso la presa della vasca di laminazione di Senago

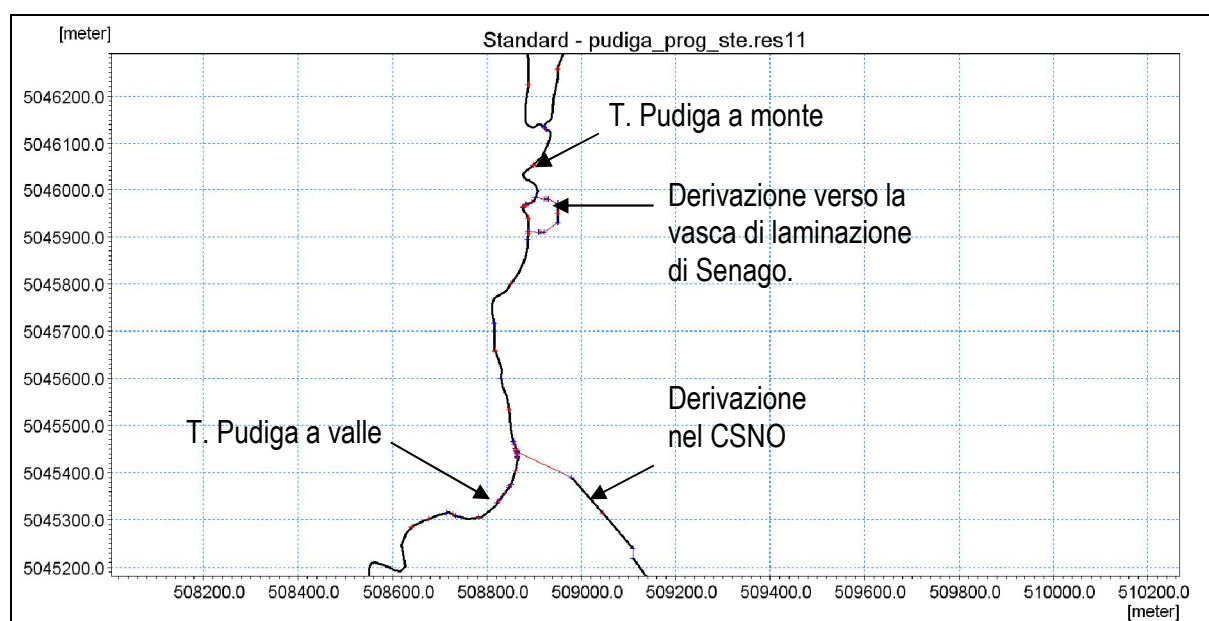


Figura 33 – Schema del modello di calcolo del T. Pudiga presso la derivazione verso la vasca di laminazione di Senago e dell'opera di scolo nel CSNO

Il volume di laminazione necessario, pari a 100'000 m³ è identico a quanto previsto nello studio dell'AdBPo.

Anche per il T. Pudiga, per ottenere un quadro delle possibili evenienze, si sono modellati anche eventi di tempo di ritorno sia minore che maggiore di quello di 100 anni assunto come evento di riferimento dall'Autorità di Bacino.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Considerando un evento di piena caratterizzato da 10 anni di tempo di ritorno (portata al colmo dell'onda a monte del CSNO pari a circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$), la portata al colmo sfiorata verso l'invaso di Senago si riduce a circa $11 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume conseguente a circa $40'000 \text{ m}^3$.

Per quanto riguarda, invece, l'evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 500 anni, in cui la portata al colmo dell'onda a monte del CSNO è pari a circa $44 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata al colmo sfiorata verso l'invaso di Senago risulta essere pari a circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume conseguente a circa $160'000 \text{ m}^3$.

5. SINTESI DELLE PORTATE E DEI VOLUMI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLA VASCA DI LAMINAZIONE DI SENAGO

Nei capitoli precedenti sono state riportate le principali caratteristiche idrologico-idrauliche dei torrenti Seveso, Garbogera e Pudiga, sia nell'assetto attuale che nell'assetto di progetto.

In particolare, per ciascun corso d'acqua, sono state definite le portate e i volumi che vengono scaricati nell'invaso di laminazione di Senago, per alcuni valori del tempo di ritorno (10, 100, 500 e 3000 anni, quest'ultimo con riferimento al recente nuovo Regolamento Dighe di cui al D.M. 26/06/2014 "*Norme tecniche per la progettazione e la costruzione degli sbarramenti di ritenuta (dighe e traverse)*").

Di seguito si riporta lo schema planimetrico di progetto della vasca di laminazione di Senago, ove sono indicati, in particolare, i punti di sfioro dei tre suddetti corsi d'acqua e il valore della portata al colmo scaricata, con riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno centennale per tutti e tre i corsi d'acqua.

Inoltre, vengono riportate le portate al colmo che occorre considerare per il dimensionamento idraulico di alcune opere che compongono il sistema di laminazione.

In sintesi, l'alimentazione della vasca di laminazione di Senago avviene attraverso n. 3 opere di presa:

1. dal CSNO ($Q_{sf-max} = 35 \text{ m}^3/\text{s}$), attraverso la quale viene sfiorata una parte della portata immessa dal Seveso nel CSNO stesso, mediante l'esistente opera di presa di Palazzolo ($Q_{sf-max} = 60 \text{ m}^3/\text{s}$);
2. dal T. Garbogera ($Q_{sf-T=100} = 5 \text{ m}^3/\text{s}$);
3. dal T. Pudiga ($Q_{sf-T=100} = 18 \text{ m}^3/\text{s}$).

Le portate scaricate dal CSNO e dal T. Garbogera vengono convogliate verso il primo settore dell'invaso attraverso un canale, che quindi deve essere dimensionato per una portata massima di $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Le portate scaricate dal T. Pudiga, invece, giungono attraverso l'opera di presa direttamente nel medesimo primo settore dell'invaso.

Il secondo settore dell'invaso viene alimentato dal primo settore attraverso n. 2 soglie di sfioro, ciascuna di esse dimensionata per un valore di portata pari a circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nel capitolo successivo vengono descritti i dimensionamenti idraulici di ciascuna opera facente del sistema idraulico della vasca di laminazione di Senago.

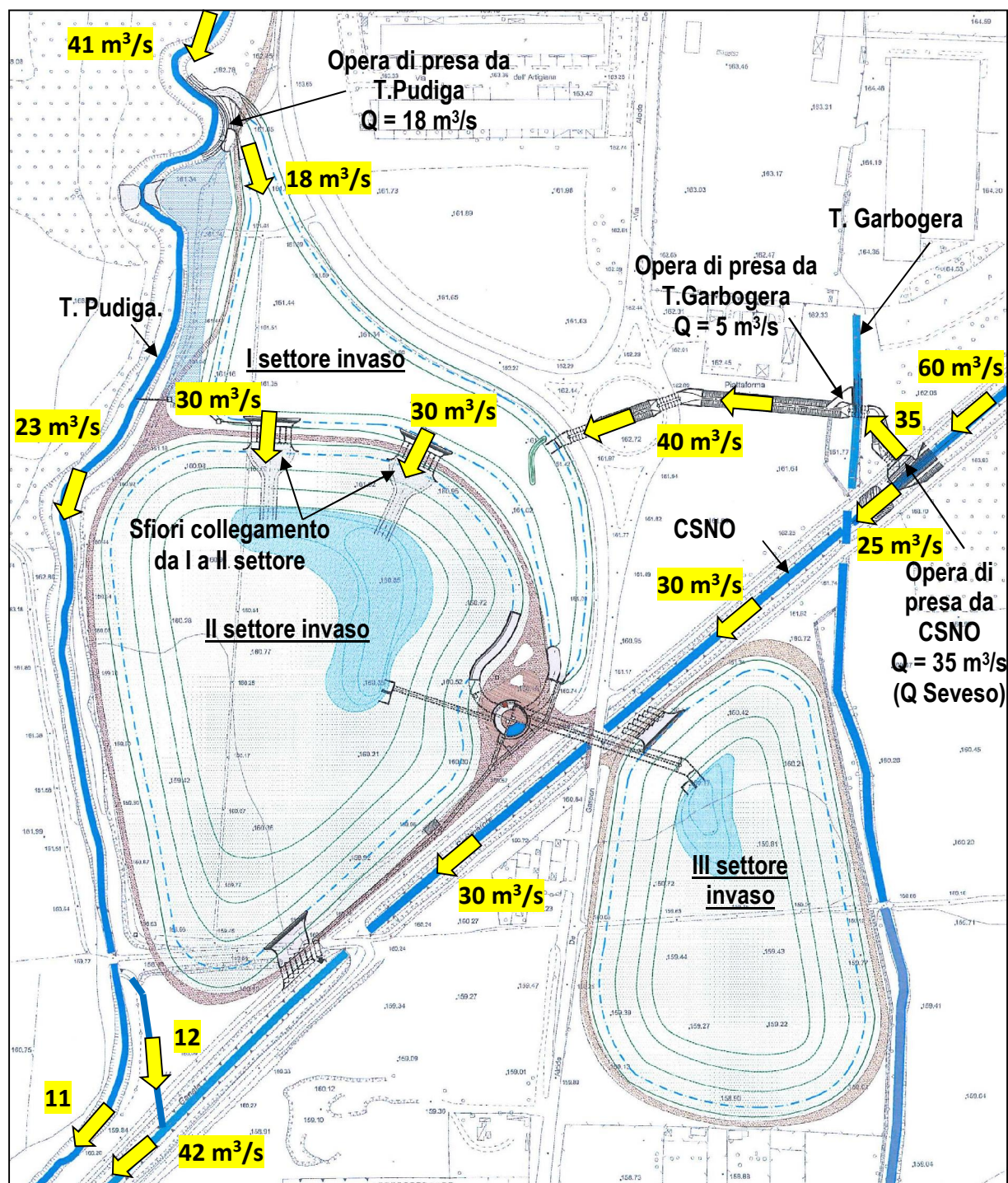


Figura 34 – Schema planimetrico del sistema idraulico della vasca di laminazione di Senago (T=100 anni)

Per quanto riguarda i volumi la sommatoria degli apporti alla vasca di laminazione in progetto provenienti dal T. Seveso (attraverso il CSNO), dal T. Garbogera e dal T. Pudiga, è maggiore del volume di laminazione della vasca in progetto.

Di seguito si riporta una tabella con sintetizzati i diversi valori dei volumi delle onde sfiorate

dai diversi corsi d'acqua in funzione del tempo di ritorno.

Tabella 3 – Volumi degli idrogrammi scolmati nella vasca di laminazione di Senago

<i>Corso d'acqua</i>	<i>T=10 anni</i>	<i>T=100 anni</i>	<i>T=500 anni</i>
T. Seveso/CSNO	>810'000 m ³	>810'000 m ³	>810'000 m ³
T. Garbogera	7'500 m ³	40'000 m ³	61'000 m ³
T. Pudiga	40'000 m ³	100'000 m ³	160'000 m ³

Come evidenziato in precedenza, in assenza delle altre opere di laminazione in progetto previste lungo il T. Seveso, a monte della presa sul CSNO, il volume che può essere deviato dal sistema T. Seveso/CSNO all'interno della vasca di laminazione di Senago supera la sua intera capacità. Pertanto, occorre effettuare la regolazione delle paratoie presenti a Palazzolo, in modo tale da derivare dal T. Seveso un idrogramma di piena caratterizzato da un volume per portate superiori a 30 m³/s (attuale portata di funzionamento del CSNO senza la vasca di laminazione di Senago) pari alla sua capacità oppure inferiore se l'evento di piena si verifica anche nei torrenti Pudiga e Garbogera.

In particolare, la paratoia a Palazzolo nel CSNO (paratoia P2 con riferimento all'elaborato A-4-5) deve essere regolata in modo tale da derivare nel CSNO:



- una portata massima di 60 m³/s, nelle fasi in cui sono ricettivi i diversi settori della vasca di laminazione di Senago;
- una portata massima di 25 m³/s (assetto di progetto), oppure circa a 30 m³/s ritornando cioè alla regolazione attuale, allorché nella vasca 3 (idrometro I6) viene raggiunto un predefinito livello massimo di invaso (livello di set point del PLC) fissato dal Gestore in base alle informazioni dedotte in tempo reale da un apposito modello idrologico-idraulico previsionale. Tale livello di set point varia a seconda dell'evento di piena che si sta verificando, in particolare:
 - se l'evento di piena interessa solo il bacino del T. Seveso, oppure se lo sfioro dei torrenti Pudiga e Garbogera è avvenuto prima dello sfioro del CSNO, il suddetto livello di set point della vasca 3 è fissato dal Gestore a circa 157.50 m s.m., in modo da consentire l'invaso nella vasca 3 del volume già presente nel CSNO (volume compreso tra Palazzolo e l'opera di presa della vasca di Senago, tra i livelli idrici corrispondenti ai valori

di portata di 30 e 60 m³/s) dopo aver effettuato la regolazione;

- se l'evento di piena interessa tutti i bacini in questione (T. Seveso, T. Pudiga e T. Garbogera) e lo sfioro dai torrenti Pudiga e Garbogera si verifica dopo lo sfioro in vasca dal CSNO, il livello di set point della vasca 3 è fissato dal Gestore a 151.00 m s.m., in modo da consentire l'invaso sia del volume già presente nel CSNO (volume compreso tra Palazzolo e l'opera di presa della vasca di Senago, tra i livelli idrici corrispondenti ai valori di portata di 30 e 60 m³/s) dopo aver effettuato la regolazione, sia del volume proveniente dai torrenti Pudiga e Garbogera (volume di piena di riferimento centennale è pari a complessivi 140'000 m³);
- in situazioni intermedie rispetto alle precedenti, caratterizzate da un evento di piena che interessa tutti i bacini in questione e lo sfioro dei torrenti Pudiga e Garbogera avviene più o meno contemporaneamente con lo sfioro dal CSNO, il livello di set point della vasca 3 sarà prefissato dal Gestore ad una quota compresa tra 151.00 m s.m. e 157.50 m s.m.. Per poter stabilire a quale quota dover effettuare la regolazione in modo da utilizzare l'intera capacità di invaso senza attivare gli sfioratori di superficie, il Gestore utilizzerà il suddetto modello idrologico-idraulico previsionale, in grado di fornire informazioni relativamente all'entità delle piene dei tre distinti corsi d'acqua e dei tempi in cui le stesse si verificano.
- In assenza di informazioni attendibili relativamente alle caratteristiche degli eventi di piena dei tre corsi d'acqua, il Gestore fisserà per sicurezza il livello di set point della vasca 3 alla quota di 151 m s.m..

Pertanto, in caso di contemporaneità di eventi di piena tra Seveso, Pudiga e Garbogera, occorre destinare una parte dell'invaso di laminazione di Senago per laminare le piene dei torrenti Pudiga e Garbogera, in quanto le opere di derivazione in vasca sono fisse e non regolabili.

La mancata, o erronea, applicazione della suddetta regola di gestione, potrebbe comportare un incremento delle portate defluenti nel CSNO, anche oltre i valori di riferimento dell'assetto di progetto definito per quest'ultimo.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Ad esempio, se si verificasse un evento di piena nei torrenti Pudiga e/o Garbogera, tale da deviare parte delle portate di piena verso la vasca di laminazione di Senago, e questa dovesse essere già completamente invasata per effetto di un precedente evento di piena del T. Seveso, si attiverebbe lo sfioratore di emergenza con scarico della portata proveniente dai torrenti delle Groane nel CSNO. Tale portata scaricata dallo sfioratore di emergenza si andrebbe a sommare a quelle che stanno già defluendo nel CSNO provenienti dagli sfioratori dei torrenti Seveso, Pudiga e Garbogera direttamente afferenti al CSNO.

La somma dei quattro contributi (sfioro dal T. Seveso + sfioro dal T. Garbogera + sfioro dal T. Pudiga + sfioro dalla vasca di laminazione di Senago attraverso lo sfioratore di emergenza) potrebbe essere superiore alla portata di riferimento dell'assetto di progetto del CSNO.

Pertanto, per poter garantire il rispetto delle portate di riferimento defluenti lungo il CSNO, occorre applicare correttamente la suddetta regola di gestione.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

6. DIMENSIONAMENTO DEL SISTEMA IDRAULICO DELLE VASCHE DI LAMINAZIONE

6.1 GENERALITÀ

Le opere in progetto che costituiscono il sistema idraulico della *Vasca di laminazione sul fiume Seveso in Comune di Senago* sono le seguenti (per una descrizione più dettagliata si rimanda alla “*Relazione tecnica descrittiva delle opere in progetto*”, elaborato A.3):

- vasca di laminazione suddivisa in n. 3 settori in serie, fuori linea rispetto ai corsi d’acqua interessati (T. Seveso, attraverso il CSNO, T. Garbogera e T. Pudiga), per un volume di laminazione utile complessivo di 810'000 m³. I volumi di laminazione dei singoli settori sono pari a 50'000 m³ per il I settore, 495'000 m³ per il II settore, e 265'000 m³ per il III settore. I primi due settori dell’invaso sono ubicati a nord del CSNO e in sponda sinistra del T. Pudiga, mentre il terzo settore è posto a sud del CSNO, in sponda destra del T. Garbogera. Il primo settore può essere svuotato interamente a gravità, mentre il secondo e il terzo settore dell’invaso vengono in parte svuotati a gravità (porzione superiore dell’invaso, di tirante pari a circa 3 m posta altimetricamente a quota maggiore di circa 155.5 m s.m. e in parte mediante un impianto di sollevamento (porzione inferiore dell’invaso, di prevalenza massima di circa 10 m). I tre settori dell’invaso sono fra loro collegati da manufatti di sfioro, in particolare:
 - il collegamento tra il primo e il secondo settore dell’invaso avviene attraverso n. 2 soglie sfioranti fisse e n. 2 scivoli in massi cementati di raccordo tra ciascuna soglia e il fondo del secondo settore dell’invaso, dove è previsto un laghetto permanente;
 - il collegamento tra il secondo e il terzo settore dell’invaso avviene attraverso un complesso sistema, necessario per superare l’interferenza costituita dal CSNO che scorre tra i due settori dell’invaso, costituito da:
 - una soglia sfiorante fissa;
 - un pozzo di caduta e di sollevamento;
 - n. 2 condotte circolari (che sottopassano il CSNO).
 - opere di presa: dal CSNO, dal T. Garbogera e dal T. Pudiga;
 - canale di alimentazione per convogliare nella vasca di laminazione le portate derivate

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

dal CSNO (provenienti dal T. Seveso) e dal T. Garbogera;

- stazione di sollevamento (posta all'interno del pozzo) e canale di scarico per consentire lo svuotamento dei tre settori dell'invaso nel CSNO;
- in adiacenza al primo settore di laminazione, in sponda sinistra rispetto al T. Pudiga è prevista la realizzazione di un comparto di fitodepurazione, di tipo a flusso superficiale, per il trattamento di una parte delle portate ordinarie del T. Pudiga.

Nei seguenti paragrafi vengono descritti i dimensionamenti idraulici effettuati per le diverse opere che costituiscono il complessivo sistema idraulico in progetto (I e II lotto delle vasche e adeguamento del CSNO nel tratto confluenza Garbogera – confluenza Pudiga).

6.2 INVASO DI LAMINAZIONE

6.2.1 Principali caratteristiche dell'invaso di laminazione

L'opera di laminazione, come già detto in precedenza, è caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo pari a 810'000 m³, suddiviso in n. 3 settori in serie, caratterizzati dai seguenti volumi:

- I settore: 50'000 m³;
- II settore: 495'000 m³;
- III settore: 265'000 m³.

La Figura 35 riporta le curve di invaso quote-volumi rispettivamente delle tre vasche e totale.

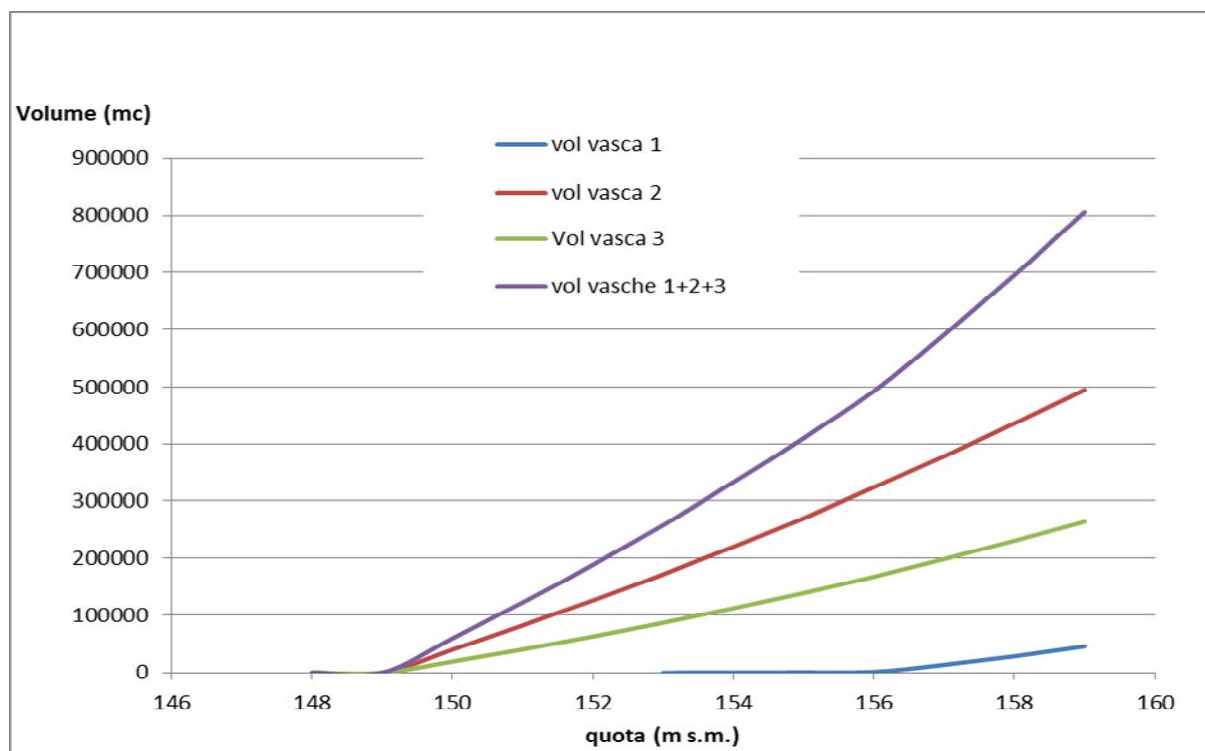


Figura 35 – Curve di invaso quote-volumi rispettivamente delle tre vasche e totale

Nella Tabella 4 sono riportate le principali caratteristiche geometriche di ciascun settore che compone l'opera di laminazione in progetto.

Tabella 4 – Caratteristiche delle tre vasche

Vasca	Volume [m ³]	Quota di fondo [m s.m.]	Quota di massima regolazione [m s.m.]	Quota massima argini [m s.m.]	Superficie alla quota di massima regolazione [m ²]
Vasca 1	50'000	155.6	159.0	162.2	18'300
Vasca 2	495'000	149.0	159.0	161.8	60'900
Vasca 3	265'000	149.0	159.25	161.8	35'000
Totale	810'000	-	-	-	114'200

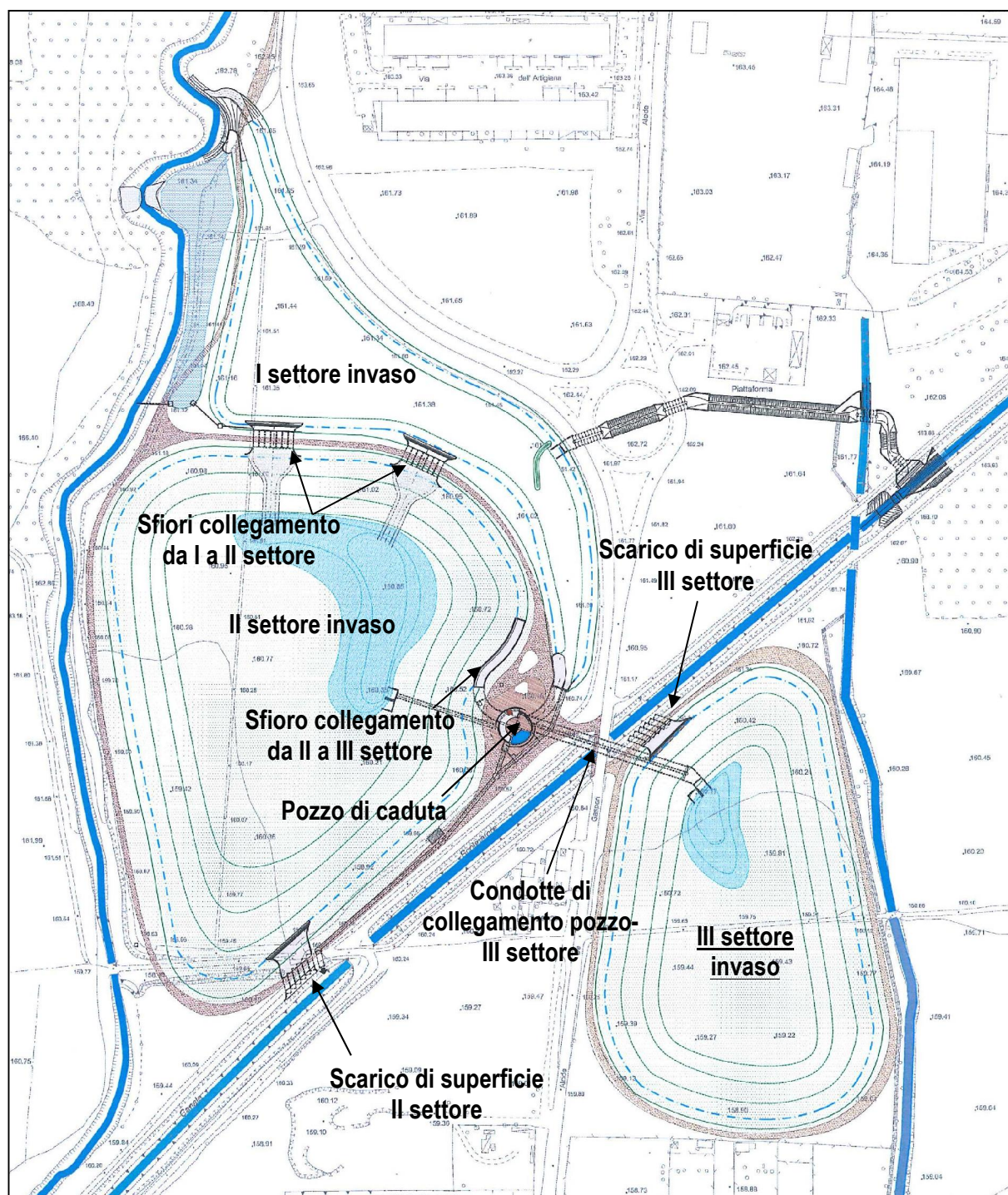


Figura 36 – Planimetria della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere idrauliche di collegamento tra i diversi settori di invaso

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

6.2.2 Portate di riferimento per i dimensionamenti delle opere

In base a quanto affermato in precedenza, le portate per il dimensionamento delle opere idrauliche presenti all'interno della vasca di laminazione sono le seguenti:

1. portata sfiorata dal CSNO = 35 m³/s;
2. portata sfiorata dal T. Garbogera = 5 m³/s;
3. portata sfiorata dal T. Pudiga = 18 m³/s.

Nei successivi calcoli di dimensionamento delle opere, si è considerato uno scenario che prevede la contemporaneità dei tre valori di portata al colmo, per cui si è assunto un valore pari a circa 60 m³/s.

Tale scenario è cautelativo, in quanto la contemporaneità di tre eventi di piena centennali relativi ai bacini in esame (Seveso, Garbogera e Pudiga) rappresenta un evento di tempo di ritorno più che centennale.

In realtà, come già affermato in precedenza, la portata di 35 m³/s proveniente dal CSNO si ha anche per eventi con tempo di ritorno pari a 2 anni, ed inoltre i bacini del T. Garbogera e del T. Pudiga sono tra loro adiacenti, per cui non è da escludere, a priori, la possibilità che entrambi si trovino in condizioni di piena con lo stesso valore del tempo di ritorno.

6.3 OPERE DI PRESA

L'opera di laminazione in progetto viene alimentata da tre corsi d'acqua, in particolare: T. Seveso (attraverso il CSNO), T. Garbogera e T. Pudiga.

Di seguito vengono descritti i calcoli idraulici condotti per il dimensionamento delle tre opere di presa.

6.3.1 Opere di presa sul CSNO

L'opera di presa sul CSNO 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 161.10 m s.m., avente un'unica luce di lunghezza pari a 20 m. In corrispondenza dello sfioratore, il CSNO è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 159.00 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro è pari a 2.1 m.

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

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale di alimentazione

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

dell'invaso di laminazione di Senago, posta a quota 156,6 m s.m..

Lungo il CSNO, dopo la soglia sfiorante è prevista una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 5.0 x 3.5 m, finalizzata a creare un restringimento di sezione per limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente lo sfioratore laterale dell'opera di presa.

Il dimensionamento dello sfioratore laterale è stato condotto in modo tale che, con riferimento ad una portata proveniente da monte pari a 60 m³/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 35 m³/s.

Il CSNO in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione trapezia in c.a. (scabrezza di Strickler pari a 70 m^{1/3}/s), con base pari a 2 m, inclinazione delle sponde pari a 1/1.7 (h/b) e pendenza di fondo pari all'1‰.

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 0,48 (soglia di sfioro tipo Creager-Scimemi), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

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

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

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

in cui:

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

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

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

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

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

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

Si sono così determinate le seguenti grandezze:

- sezione del restringimento del CSNO 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):

5 x 1.15 m;

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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

	3,25 m;
- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo del canale:	2,1 m;
- lunghezza della soglia sfiorante:	20,0 m;
- portata del canale a monte dello sfioratore:	60,0 m ³ /s;
- portata del canale a valle dello sfioratore:	25,0 m ³ /s
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore:	2,47 m.

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

A valle della paratoia di restringimento il CSNO presenta un salto di fondo di altezza pari a circa 2 m (quota di fondo a valle del salto pari a circa 157.0 m s.m.).

Il livello idrico appena a monte del salto è pari a 0.7 m ($E = 3.18$ m), mentre alla base dello stesso salto di fondo il livello idrico di corrente veloce è pari a 0.5 m.

Per dissipare l'energia della corrente, alla base del salto è presente una vasca di dissipazione (di dimensioni pari a 13 m di lunghezza e 5 m di larghezza) che verrà integrata con dei denti in c.a. del tipo II-USBR (Figura 38).

A valle della vasca di dissipazione il livello idrico presente nel CSNO, in corrente lenta, è pari a circa 2.3 m.



Figura 37 – Vasca di dissipazione esistente a valle del salto ove a monte è prevista la realizzazione dell'opera di presa dal CSNO

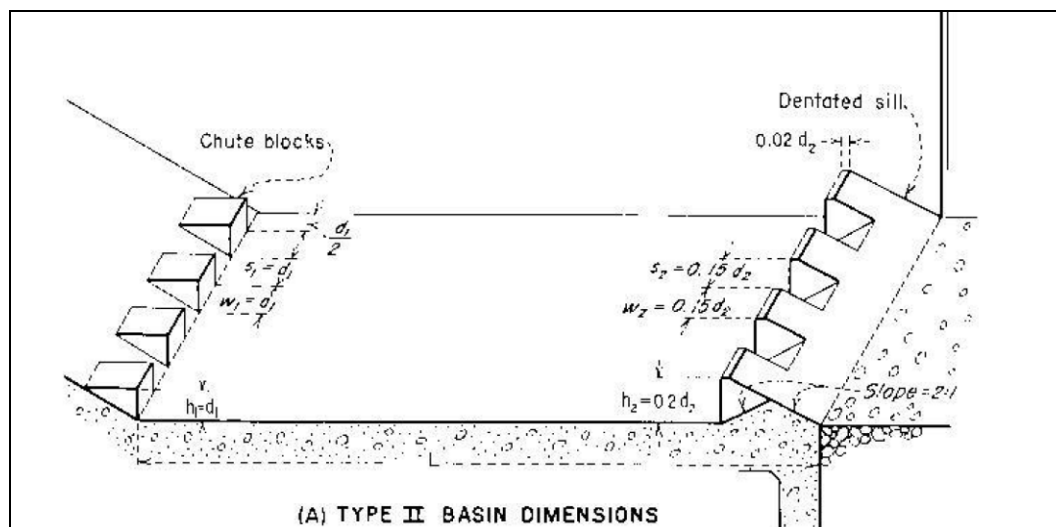


Figura 38 – Opere di dissipazione a vasca – USBR tipo II

6.3.2 Opere di presa sul T. Garbogera

L'opera di presa sul T. Garbogera è costituita da uno sfioratore laterale del tipo a stramazzo, formata da una soglia fissa in c.a con il ciglio posto alla quota di 160.83 m s.m., avente un'unica luce di lunghezza pari a 10 m. In corrispondenza dello sfioratore, il T. Garbogera è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 159.93 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro è pari a 0.9 m.

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

A valle della soglia di sfioro è prevista una platea di raccordo con il canale di alimentazione dell'invaso di laminazione di Senago, posta a quota 157,50 m s.m..

Dopo la soglia sfiorante, lungo il T. Garbogera, è prevista la realizzazione di un restringimento finalizzato a limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente lo sfioratore laterale dell'opera di presa.

Il dimensionamento dello sfioratore laterale è stato condotto in modo tale che, con riferimento ad una portata centennale proveniente da monte pari a 11.8 m³/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 5 m³/s.

Il T. Garbogera in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione rettangolare con muri in c.a., con base pari a 4.5 m e pendenza di fondo pari all'1,5‰.

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 0,48 (soglia di sfioro tipo Creager-Scimemi), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

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

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

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

in cui:

Δq è la portata sfiorata in un tratto di lunghezza Δx [m^3/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 [m^3/s];

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

Si sono così determinate le seguenti grandezze:

- larghezza del restringimento del T. Garbogera 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):
2,5 m;
- altezza della corrente lenta a monte del restringimento e a valle dello sfioratore:
1,36 m;
- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo:
0,9 m;
- lunghezza della soglia sfiorante:
10,0 m;
- portata a monte dello sfioratore:
11,8 m^3/s ;
- portata a valle dello sfioratore:
7,5 m^3/s ;
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore:
1,15 m.

La quota del pelo libero a monte dello sfioratore è pari a circa 161,08 m s.m. (159.93 m s.m. + 1.15 m). In tale tratto la quota idrica dell'assetto di progetto definito nello Studio di Fattibilità dell'Autorità di bacino del fiume Po è prossimo a 160,99 m s.m. e la quota di intradosso del tombotto posto a monte è pari a 162.13 m s.m. (sezione GA-24).

Pertanto l'assetto idraulico indotto dalle opere in progetto è compatibile con i profili idraulici di riferimento a monte e con i franchi di sicurezza assunti nell'assetto di progetto dell'AdBPo. Si evidenzia, inoltre, che nell'assetto di progetto dell'AdBPo non sono previsti a monte del restringimento delle opere di adeguamento arginale.

A valle dello sfioratore laterale vi è l'esistente manufatto di scolmo delle piene del T. Garbogera nel CSNO. La portata sfiorata attraverso tale soglia (altezza pari a 0.6 m e lunghezza pari a circa 12 m) nell'assetto di progetto (v. par. 3.3) è pari a $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$. Per consentire lo sfioro di tale portata, occorre ridurre la luce libera al di sotto della paratoia di regolazione esistente a circa 0.3 m (la paratoia ha una larghezza di 2.70 m e l'attualmente la altezza di regolazione dal fondo è pari a circa 0.6 m). La portata di piena che prosegue verso valle risulta essere pari a $2 \text{ m}^3/\text{s}$.

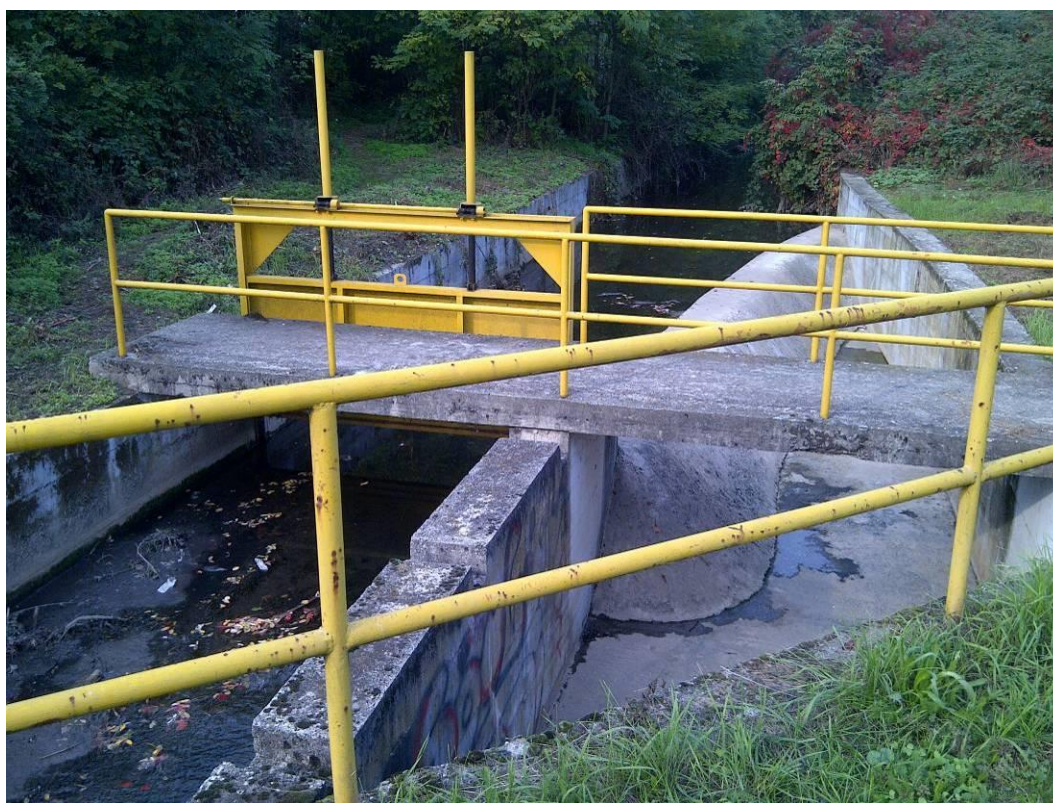


Figura 39 – Manufatto di sfioro del T. Garbogera nel CSNO.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

6.3.3 Opere di presa sul T. Pudiga

L'opera di presa sul T. Pudiga, costituita da una soglia sfiorante fissa, lunga 20 m e alta 1.5 m rispetto al fondo del torrente (quota fondo pari a 159.50 m s.m.); a valle della soglia sfiorante è prevista la realizzazione di un restringimento finalizzato a limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente lo sfioratore laterale dell'opera di presa.

L'opera di presa sul T. Pudiga è costituita da uno sfioratore laterale del tipo a stramazzo, formata da una soglia fissa massi cementati con il ciglio posto alla quota di 161.0 m s.m., avente un'unica luce di lunghezza pari a 20 m. In corrispondenza dello sfioratore, il T. Pudiga è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 159.50 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro è pari a 1.5 m.

Il profilo trasversale della soglia sfiorante è del tipo a larga soglia.

A valle della soglia di sfioro è previsto uno scivolo di raccordo con il primo settore dell'invaso di laminazione di Senago, caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 156,00 m s.m..

Dopo la soglia sfiorante, lungo il T. Pudiga, è prevista la realizzazione di un restringimento finalizzato a limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente lo sfioratore laterale dell'opera di presa.

Il dimensionamento dello sfioratore laterale è stato condotto in modo tale che, con riferimento ad una portata centennale proveniente da monte pari a 41 m³/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 18 m³/s.

Il T. Pudiga in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione trapezia con base pari a 4 m e pendenza di fondo pari al 4‰.

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 0,4, deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

$$\Delta q = 0,4 \cdot \Delta x \cdot (h - c) \sqrt{2g(h - c)}$$

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

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

in cui:

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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

h è l'altezza idrica rispetto al fondo [m];

c è l'altezza della soglia sfiorante rispetto al fondo [m];

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

Q_{monte} è la portata a monte dello sfioratore [m^3/s];

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

Si sono così determinate le seguenti grandezze:

- larghezza del restringimento del T. Pudiga 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):

$$b = 1,5 \text{ m};$$

inclinazione sponde 1/1;

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

$$2,4 \text{ m};$$

- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo:

$$1,5 \text{ m};$$

- lunghezza della soglia sfiorante:

$$20,0 \text{ m};$$

- portata a monte dello sfioratore:

$$41,0 \text{ m}^3/\text{s};$$

- portata a valle dello sfioratore:

$$23,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore:

$$1,7 \text{ m}.$$

La quota del pelo libero a monte dello sfioratore è pari a circa 161,20 m s.m. (159.50 m s.m. + 1.7 m). In tale tratto la quota idrica dell'assetto di progetto definito nello Studio di Fattibilità dell'Autorità di bacino del fiume Po è prossimo a 161,35 m s.m. (PU-28). Pertanto l'assetto idraulico indotto dalle opere in progetto è compatibile con i profili idraulici di riferimento a monte e con i franchi di sicurezza assunti nell'assetto di progetto dell'AdBPo. Si evidenzia, inoltre, che nell'assetto di progetto dell'AdBPo non sono previsti, oltre all'opera di laminazione in progetto, ulteriori interventi di difesa nel tratto di asta posta nell'intorno della vasca di laminazione in progetto.

A valle dello sfioratore laterale vi è l'esistente manufatto di scolmo delle piene del T. Pudiga nel CSNO. La portata sfiorata attraverso tale soglia (altezza pari a 0.6 m e lunghezza pari a circa 5 m) nell'assetto di progetto (v. par.4.3) è pari a 12 m^3/s . Per consentire lo sfioro di tale portata, occorre che la luce libera al di sotto della paratoia di regolazione esistente, larga 4 m, sia pari a 0.6 m (pari all'attualmente altezza di regolazione). La portata di piena che prosegue verso valle risulta essere pari a 11 m^3/s .

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>



Figura 40 – Manufatto di sfioro del T. Pudiga nel CSNO.

6.4 CANALE DI ALIMENTAZIONE DEL PRIMO SETTORE DI INVASO

Le portate derivate dal CSNO e dal T. Garbogera vengono recapitate nel primo settore dell'invaso di laminazione di Senago attraverso un canale, prevalentemente a cielo aperto.

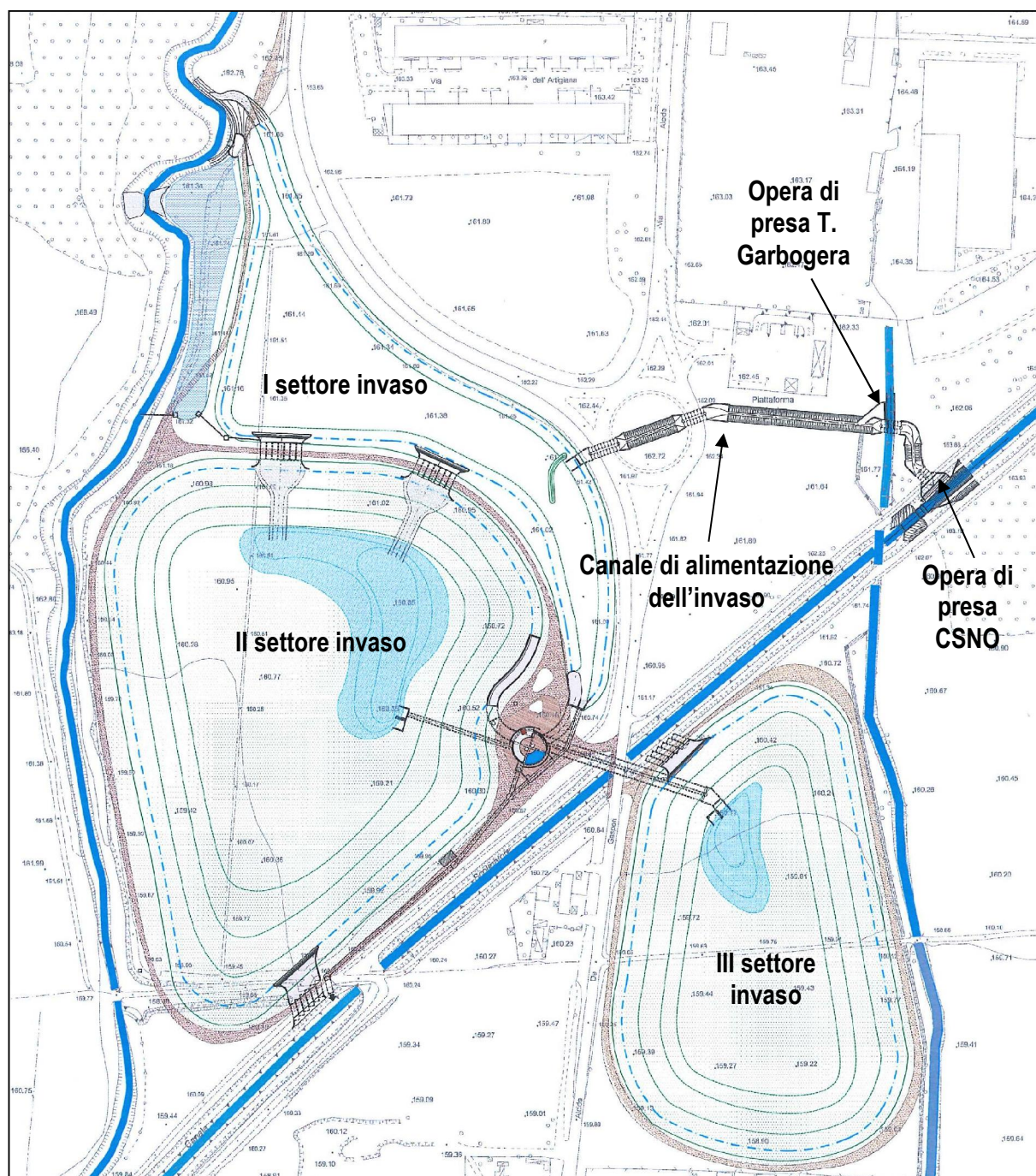


Figura 41 – Planimetria della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere idrauliche di alimentazione del primo settore di invaso

Il canale ha una lunghezza di circa 260 m. La quota di fondo in corrispondenza della sezione iniziale (a valle dell'opera di presa del CSNO) è pari a 156.60 m s.m., mentre la quota di fondo nella sezione terminale (ingresso nel primo settore dell'invaso) è pari a 156 m s.m..

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

La pendenza del canale è pari al 2‰.

La parte a cielo aperto ha una lunghezza di circa 200 m, mentre i restanti 60 m sono previsti con manufatti scatolari o gettati in opera, per consentire il sottopasso di alcune infrastrutture interferenti, quali il T. Garbogera e la rotatoria della S.P.175.

La sezione del canale a cielo aperto è trapezia, con base minore pari a 2 m ed inclinazione delle sponde 1:1. Il fondo del canale e la prima parte della sponda (fino ad una altezza di 4 m dal fondo) sono rivestite in cemento. La parte superiore, fino al piano campagna, è rinverdata e rinforzata con geogriglie.

Il tratto posto al di sotto della strada alzaia (lunghezza pari a 6 m) è costituito da n. 2 file di scatolari in c.a., di dimensioni interne pari a 3x3.25 m.

Il tratto posto al di sotto del T. Garbogera (lunghezza pari a 12 m) è costituito da n. 2 file di scatolari in c.a., di dimensioni interne pari a 3x3 m. L'altezza di 3 m del manufatto di sottopasso è vincolato dalla quota di fondo del torrente che è pari a circa 160 m s.m., per cui la conseguente quota di estradosso del manufatto è stata assunta pari a 159.5 m s.m., 3 m al di sopra della quota di fondo del canale, pari a 156.5 m s.m.. La quota del canale non può essere ulteriormente abbassata, tenuto conto che la quota di fondo della sezione terminale è pari a 156 m s.m., 0.5 m al di sopra del fondo del primo settore dell'invaso.

I due tratti posti al di sotto della strada provinciale 175 (lunghezza complessiva pari a circa 32 m) sono costituiti ciascuno da n. 2 file di scatolari in c.a., di dimensioni interne pari a 3x4 m.

La portata di dimensionamento del canale è pari a 40 m³/s (35 m³/s dal CSNO e 5 m³/s dal T. Garbogera).

Il livello idrico che si instaura nella sezione terminale del canale (imbocco nel primo settore dell'invaso) è pari a 2.7 m, pari alla differenza tra il livello idrico all'interno dell'invaso (158.7 m s.m.) conseguente al deflusso della portata di 60 m³/s al di sopra delle soglie di alimentazione del secondo e/o terzo settore, e il livello di fondo del canale (156.0 m s.m.).

Da tale livello, procedendo verso monte il livello idrico tende all'altezza di moto uniforme, pari a 2.5 m (con scabrezza pari a 70 m^{1/3}/s).

Il franco di sicurezza è ovunque superiore ad 1 m, ad eccezione del manufatto di sottopasso del T. Garbogera, in cui il franco è pari a 0.5 m.

Considerando, infine, un valore maggiore della scabrezza, pari a 60 m^{1/3}/s, in relazione all'usura del materiale e alla presenza di sedimenti sul fondo, si ha che l'altezza idrica che si instaura nel canale è pari ovunque a 2.7 m. Anche in tal caso il franco di sicurezza è sempre

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

maggiore di 1 m, ad eccezione del sottopasso del T. Garbogera, ove il franco si riduce a 30 cm.

6.5 MANUFATTI DI COLLEGAMENTO TRA I DIVERSI SETTORI DELL'INVASO

6.5.1 Dimensionamento delle soglie di sfioro per il collegamento tra il I e il II settore

Il collegamento idraulico tra il primo e il secondo settore dell'invaso avviene attraverso n. 2 soglie sfioranti fisse, con funzionamento a stramazzo, e n. 2 scivoli in massi cementati di raccordo tra ciascuna soglia e il fondo del secondo settore dell'invaso.

La portata di dimensionamento di ciascuna soglia di sfioro è pari a 30 m³/s.

La legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo è:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata [m³/s];
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.385, tenendo conto cautelativamente del profilo a larga soglia;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando che la quota della soglia sfiorante è pari a 158,00 m s.m. e limitando l'altezza del pelo libero a 0,7 m (in relazione alla geometria delle opere di alimentazione dell'invaso), ossia a quota 158.70 m s.m., si ha che la larghezza di ciascuna soglia sfiorante è pari a 30 m.

Le due soglie sono previste con una larghezza totale pari a 35 m, considerando quindi l'effetto di contrazioni laterali della corrente.

6.5.2 Sistema di collegamento tra il II e il III settore

Il collegamento idraulico tra il secondo e il terzo settore dell'invaso avviene attraverso un complesso sistema, necessario per superare l'interferenza costituita dal CSNO che scorre tra i due settori dell'invaso, costituito da:

- una soglia sfiorante fissa;
- un canale di gronda;

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- un pozzo di caduta e di sollevamento;
- n. 2 condotte circolari (che sottopassano il CSNO).

La portata di dimensionamento delle diverse opere è pari a 60 m³/s.

Considerando la soglia sfiorante, la legge di efflusso a stramazzo ad asse rettilineo è:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata [m³/s];
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.48, tenendo conto del profilo tipo Creager;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando che la quota della soglia sfiorante è pari a 158,00 m s.m. e limitando l'altezza del pelo libero a 0,7 m (in relazione alla geometria delle opere di alimentazione dell'invaso), si ha che la larghezza della soglia sfiorante è pari a 50 m.

A valle della soglia di sfioro la portata si raccoglie in un canale di gronda largo 6 m caratterizzato da una quota di fondo pari a 154 m s.m. (- 4 m rispetto alla quota di coronamento della soglia di sfioro). La lunghezza del canale è pari a complessivi 85 m, di cui 50 m in corrispondenza della soglia di sfioro (portata crescente da 0 a 60 m³/s) e i restanti 35 m per giungere fino al pozzo di caduta. La quota di fondo è stata fissata in modo tale che la massima altezza che si instaura nel canale di gronda non rigurgiti la soglia di sfioro.

Per valutare la massima altezza nel canale di gronda si è considerato che il processo di alimentazione a portata variabile dello stesso avviene a spinta totale (idrostatica + idrodinamica) costante e l'altezza massima si verifica nella sezione iniziale (1-1) dove la portata è nulla.

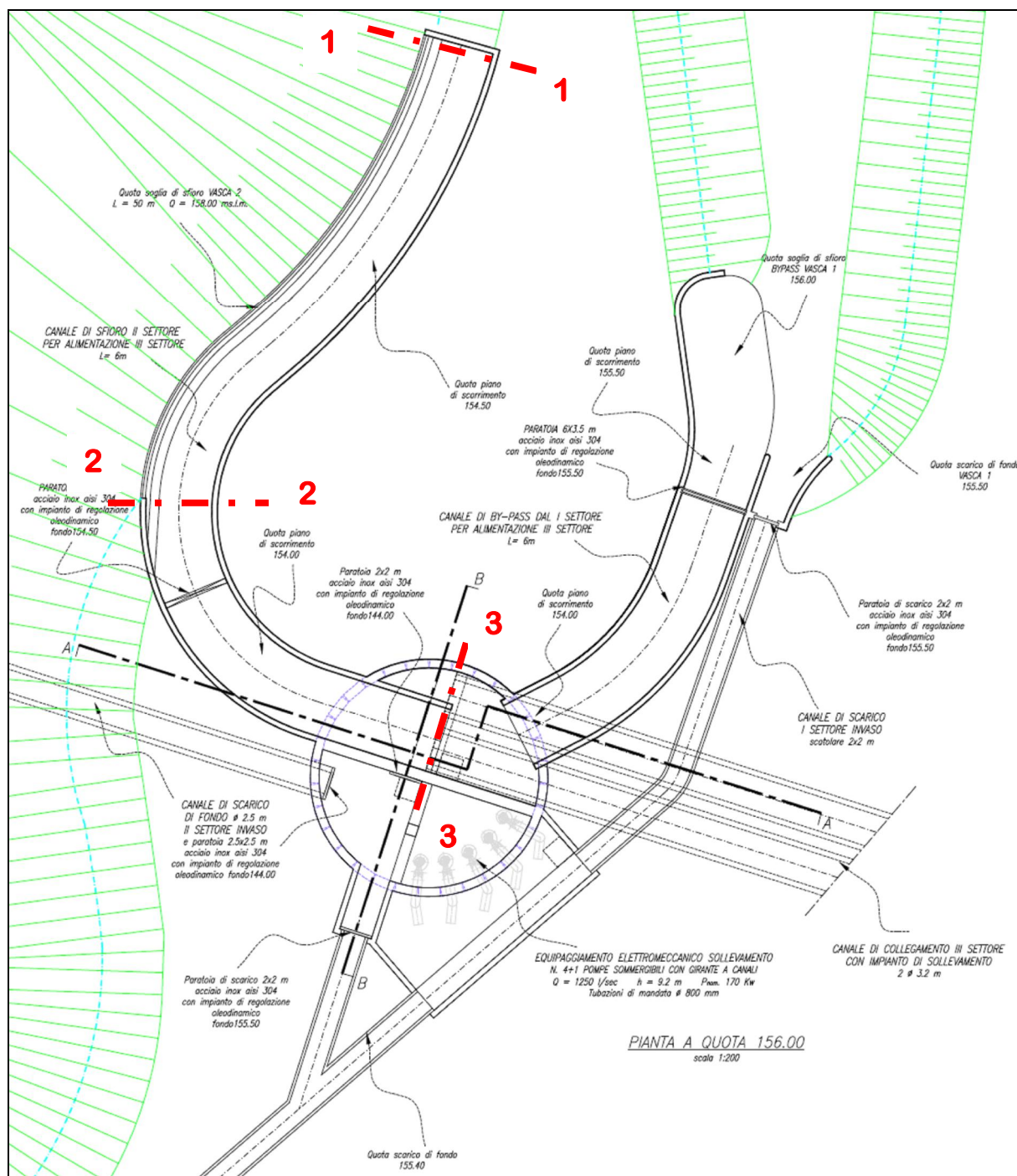


Figura 42 – Planimetria della soglia di sfioro e del canale di gronda

Il valore della spinta totale nella sezione 2-2 è stato calcolato, per le condizioni di corrente lenta, determinando il profilo di corrente a pelo libero nel tratto terminale del canale, lungo 35 m e largo 6 m, avendo considerato una pendenza pari a 0.1%, e un valore di scabrezza pari a

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

70 m^{1/3}/s (altezza di moto uniforme pari a 3,30 m).

Come condizione al contorno di valle (immissione nel pozzo, sezione 3-3) è stata posta l'altezza di stato critico, pari a circa 2.17 m.

Il livello idrico in corrispondenza della sezione 2-2 è pari a 2.46 m e il corrispondente valore della spinta totale è pari a 422'000 N.

In base a quanto affermato in precedenza, la spinta totale nella sezione 2-2 è uguale a quella nella sezione 1-1. In tale sezione, siccome la portata è nulla, la spinta totale è data solo dalla componente idrostatica, per cui il valore dell'altezza di pelo libero si ottiene applicando la seguente formula:

$$h = \sqrt{2S / \gamma b}$$

dove:

- h è l'altezza di pelo libero nella sezione 1-1 [m];
- S è la spinta [kg];
- γ è il peso specifico dell'acqua [kg/m³]
- b è la larghezza del canale [m].

Il valore di h è pari quindi a 3.8 m, quindi l'altezza del canale è stata posta pari a 4 m, in modo da garantire l'assenza di rigurgito della soglia di sfioro.

La portata convogliata dal canale di gronda si immette nel pozzo di caduta, che svolge la funzione di superare il dislivello tra la quota di fondo del canale di gronda, pari a 154 m s.m., e il sistema di collegamento con il terzo settore dell'invaso, costituito da 2 tubazioni ϕ 3.2 m con quota di fondo pari a 147 m s.m. in corrispondenza del fondo del pozzo.

Il pozzo è caratterizzato da un diametro interno pari a 20 m, ma la parte adibita al deflusso della portata proveniente dal secondo settore dell'invaso per l'alimentazione del terzo settore è rappresentata solo da metà (in senso verticale); l'altra metà del pozzo è adibita a stazione di sollevamento per lo scarico del volume invasato.



79

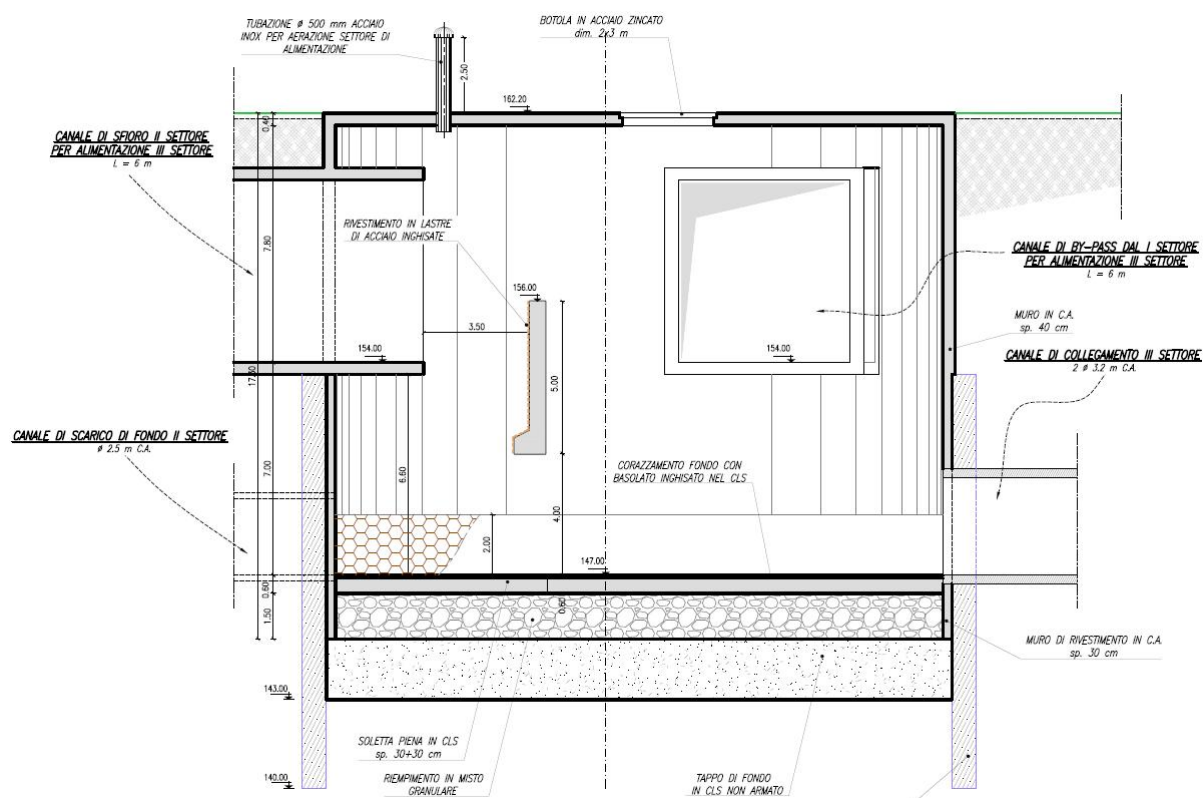


Figura 44 – Sezione longitudinale pozzo dissipatore in corrispondenza del settore che svolge funzione di collegamento tra il secondo e il terzo settore.

Nel pozzo in oggetto il salto di 7 metri della corrente, da quota scorrimento del canale di ingresso pari a 154 m s.m. fino alla quota fondo pozzo di 147 m s.m., deve essere convenientemente attrezzato con setti atti a produrre la necessaria dissipazione dell'energia. Occorre quindi caratterizzare la corrente in arrivo nel canale di gronda. Siccome nel canale si ha un regime in corrente lenta, nella sezione di imbocco del pozzo si ha il passaggio per lo stato critico ($Fr = 1$), avente l'altezza k di 1 m. Considerando l'abaco adimensionale di letteratura delle correnti in caduta nei salti di fondo, è quindi possibile individuare i profili superiore e inferiore della vena in caduta libera nel pozzo.

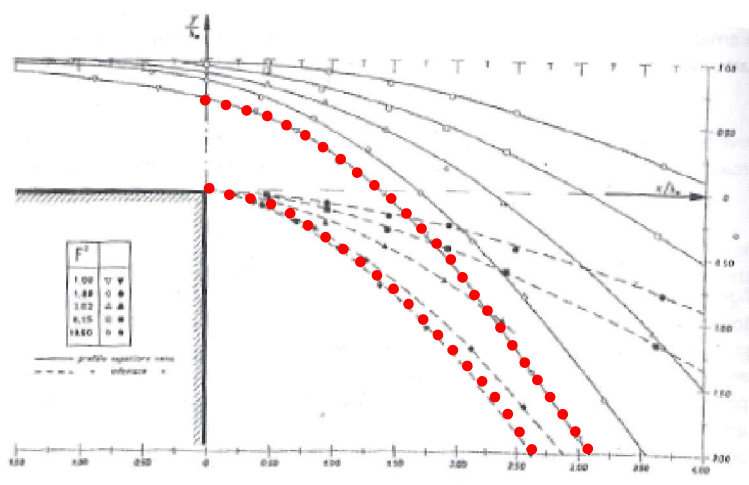


Figura 45 – Profili delle vene in caduta libera da canale rettangolare rilevati nel piano di simmetria [Rouse, 1943]¹

Essendo $Fr = 1$, i profili di vena da considerare sono quelli evidenziati.

Tali profili consentono di determinare la posizione della parete rompigetto frontale atta a obbligare la corrente a rompere la sua traiettoria e quindi a realizzare la corrispondente dissipazione energetica. Posizionando il setto a circa 1 volta l'altezza di moto uniforme della corrente in arrivo (pari a 3,30 m) si ottiene il desiderato effetto dissipativo.

Il collegamento idraulico tra il fondo del pozzo di caduta e il terzo settore dell'invaso avviene attraverso due condotte circolari in c.a., ciascuna caratterizzata da un diametro interno pari a 3.2 m e da una lunghezza di circa 100 m.

La quota di fondo di tali tubazioni è pari a 147 m s.m. in corrispondenza del pozzo, mentre in corrispondenza del terzo settore dell'invaso la quota di fondo è pari a 147.5 m s.m. (1.5 m al di sotto del fondo dell'invaso e pari alla quota di fondo del laghetto permanente).

Le tubazioni sono poste in contropendenza in quanto esse devono consentire lo svuotamento del terzo settore dell'invaso attraverso le opere di scarico (canale e stazione di sollevamento) poste nella metà del pozzo adibito a tale funzione.

Per tale motivo le tubazioni di collegamento tra i due invasi funzionano in pressione.

Considerando la portata massima per ciascuna tubazione ($30 \text{ m}^3/\text{s}$), le caratteristiche geometriche dei condotti e un valore di scabrezza pari a $\epsilon=1 \text{ mm}$ (tubi usati), si ha che le perdite di carico distribuite sono pari a circa 0.3 m, mentre le perdite di carico concentrate

¹ "Fondamenti di costruzioni idrauliche", Becciu e Paoletti, UTET.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

(imbocco e sbocco), valutabili in 1.5 volte l'altezza cinetica, sono pari a circa 1.1 m.

Pertanto, le perdite di carico complessive sono pari a 1.4 m.

Ciò significa che, considerando che il livello del secondo settore dell'invaso durante il deflusso di una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 158.7 m s.m., si ha che il livello che può essere raggiunto nel terzo settore dell'invaso, sempre con riferimento alla portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 157.30 m. Tale livello idrico praticamente coincide con il livello (pari a 157.50 m s.m.) per il quale occorre ridurre la portata nel CSNO da 60 a $25 \text{ m}^3/\text{s}$, per evitare di alimentare l'invaso di Senago oltre la sua capacità.

6.6 SCARICHI DI SUPERFICIE E DI FONDO

6.6.1 Richiami del Regolamento Dighe D. MIT. 26/06/2014 (G.U. 08/07/2014 n. 156)

Il nuovo Regolamento Dighe (da qui in avanti denominato RID) di cui al D. MIT. 26/06/2014 (G.U. 08/07/2014 n. 156) ha modificato i requisiti richiesti per lo opere di scarico di superficie e di fondo degli sbarramenti di competenza statale.

Le Norme del suddetto Regolamento “*si applicano a tutti gli sbarramenti di ritenuta del territorio nazionale. Per gli sbarramenti la cui altezza non supera i 10 m e che determinano un volume di vaso non superiore a 100.000 m^3 , come definiti al cap. B1, l'Amministrazione competente alla vigilanza sulla sicurezza potrà decidere caso per caso e, in relazione alle caratteristiche dell'impianto di ritenuta, quali delle norme seguenti siano da applicare*”.

Secondo il cap. B1 del Regolamento si ha:

- *Altezza della diga: è la differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del punto più depresso dei paramenti. Per le traverse prive di coronamento si fa riferimento alla quota del punto più elevato della struttura di ritenuta;*
- *Volume di vaso: volume del serbatoio compreso tra la quota massima di regolazione e la quota del punto più depresso del paramento di monte”.*

Nel presente progetto:

- l'altezza massima dell'opera di ritenuta è pari a circa 3 m, valore ottenuto come differenza tra la quota del coronamento arginale, pari a 161.80 m s.m. e la quota del punto più depresso del paramento, pari a 158.77 m s.m. (individuata sulla linea di intersezione tra detto paramento e piano di campagna, lato sud del III settore);
- il volume di vaso, compreso tra la quota massima di regolazione, pari a 159.25 m s.m.

A.T.P.:				Consulenti:	
		Studio Associato di Geologia Spada	Dott. Ing. C. Tonetto		Prof. Dott. V. Mezzanotte

(III settore invaso) e la quota del punto più depresso del paramento, pari a 158.77 m s.m. è pari a $56'700 \text{ m}^3$,

pertanto entrambi i parametri sono inferiori ai suddetti limiti previsti dal citato Regolamento. A favore di sicurezza, il dimensionamento delle opere di scarico di superficie è stato effettuato nel presente progetto utilizzando comunque come riferimento i contenuti del nuovo Regolamento Dighe.

Nei riguardi degli scarichi di superficie il nuovo RID prescrive (art. C.1.): *“Gli scarichi di superficie della diga devono essere dimensionati per l’onda con portata al colmo di piena corrispondente al periodo di ritorno di 3000 anni per le dighe in materiali sciolti, tenendo conto dell’effetto di laminazione esercitato dall’invaso.”*

Inoltre nei riguardi degli scarichi di fondo il RID prescrive (art. C.1.): *“Gli scarichi a battente devono rendere possibile la vuotatura del 75% del volume d’invaso del serbatoio a partire dalla quota massima di regolazione in un periodo di 3 giorni se (come nel caso di cui trattasi) la capacità del serbatoio è inferiore o uguale a 50 milioni di m^3 ”.*

6.6.2 Calcolo portate di progetto dello scarico di superficie

È pertanto necessario calcolare i valori delle portate di piena corrispondenti al tempo di ritorno 3000 anni dei due torrenti Garbogera e Pudiga che afferiscono direttamente nel nuovo invaso, mentre tale calcolo non è necessario per il F. Seveso dal momento che questo interesserà l’invaso solo per le portate derivate dal CSNO limitate al massimo al valore di $60 - 25 = 35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Mediante le simulazioni modellistiche condotte nell’ambito del Progetto Preliminare in data aprile 2013 sono stati calcolati i valori delle portate di piena del T. Garbogera e del T. Pudiga in corrispondenza della rispettiva sezione di ingresso nella vasca di cui trattasi, corrispondenti ai tempi di ritorno 10, 100, 500 anni.

È da ricordare che tali valori sono derivati da un modello idrodinamico dei due torrenti rappresentante il funzionamento idrologico e idraulico del bacino afferente. Non derivano quindi da una elaborazione puramente idrologica che non avrebbe potuto tenere conto degli effetti idraulici interferenti con la propagazione delle piene nell’alveo e nelle eventuali aree di invaso laterali.

Tuttavia, ai fini del presente progetto è tenuto conto dei rilevanti limiti di approssimazione

intrinseci in stime proiettate al tempo di ritorno di 3000 anni, si è ritenuto di procedere ad una stima basata sulla proiezione statistica a 3000 anni secondo Gumbel delle portate al colmo calcolate con il suddetto modello idrodinamico per i tempi di ritorno 10, 100, 500 anni.

Si richiama la legge di Gumbel:

$$y = \alpha(Q_{colmo} - u) = \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right]$$

in cui:

- y è la variabile ridotta di Gumbel
- α e u sono i parametri della distribuzione di Gumbel
- T è il tempo di ritorno.

Conoscendo i valori di Q_{colmo} per T= 10, 100, 500 anni si può trovare la retta interpolare $y=\alpha(Q_{colmo}-u)$ e quindi sul prolungamento di tale retta i valori di Q_{colmo} corrispondenti a T = 3000 anni.

Portate di piena del T. Garbogera.

Nelle simulazioni modellistiche condotte nell'ambito del Progetto Preliminare in data aprile 2013 sono state calcolati i seguenti valori delle portate di piena del T. Garbogera:

T (anni)	Q_{colmo} Garbogera (modello) (m ³ /s)
10	6,80
100	11,80
500	15,20

Applicando quindi la suddetta procedura di regolarizzazione secondo Gumbel basata sulla legge rettilinea che unisce i valori di y e Q_{colmo} riferiti a T = 10 e 500 anni, si ottengono i valori esposti nella seguente tabella:

T (anni)	Probabilità di non superamento	y (Gumbel)	Q Garbogera (modello) (m ³ /s)	Q Garbogera (Gumbel) (m ³ /s)
10	0,9	2,2504	6,80	6,80
100	0,99	4,6001	11,80	11,78
500	0,998	6,2136	15,20	15,20
1000	0,999	6,9073		16,67
3000	0,9996667	8,0062		19,00

Si ottiene pertanto che la portata di piena del T. Garbogera corrispondente a $T = 3000$ anni è pari a:

$$Q_{colmo} = 19,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portate di piena del T. Pudiga.

Nelle simulazioni modellistiche condotte nell'ambito del Progetto Preliminare in data aprile 2013 sono state calcolati i seguenti valori delle portate di piena del T. Pudiga:

T (anni)	Q_{colmo} Pudiga (modello) (m^3/s)
10	29,50
100	38,50
500	44,00

Applicando quindi la suddetta procedura di regolarizzazione secondo Gumbel basata sulla legge rettilinea che unisce i valori di y e Q_{colmo} riferiti a $T = 10$ e 500 anni, si ottengono i valori esposti nella seguente tabella:

T (anni)	Probabilità di non superamento	y (Gumbel)	Q Pudiga (modello) (m^3/s)	Q Pudiga (Gumbel) (m^3/s)
10	0,9	2,2504	29,50	29,50
100	0,99	4,6001	38,50	38,10
500	0,998	6,2136	44,00	44,00
1000	0,999	6,9073		46,54
3000	0,9996667	8,0062		50,56

Si ottiene pertanto che la portata di piena del T. Pudiga corrispondente a $T = 3000$ anni è pari a:

$$Q_{colmo} = 51,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Portate di progetto dello scarico di superficie.

La portata di progetto con cui deve essere dimensionato lo scarico di superficie è data dalla somma dei contributi delle piene a 3'000 anni di tempo di ritorno del T. Pudiga e del T. Garbogera che, in relazione alle geometrie delle rispettive opere di presa previste in progetto,

vengono sfiorate all'interno dell'invaso.

Attraverso l'utilizzo dei modelli idraulici del T. Garbogera e del T. Pudiga sono stati calcolati i suddetti idrogrammi di piena, riportati nella Figura 46, da cui si evince che i rispettivi valori di picco sono $9.5 \text{ m}^3/\text{s}$ per il T. Garbogera e $24.5 \text{ m}^3/\text{s}$ per il T. Pudiga.

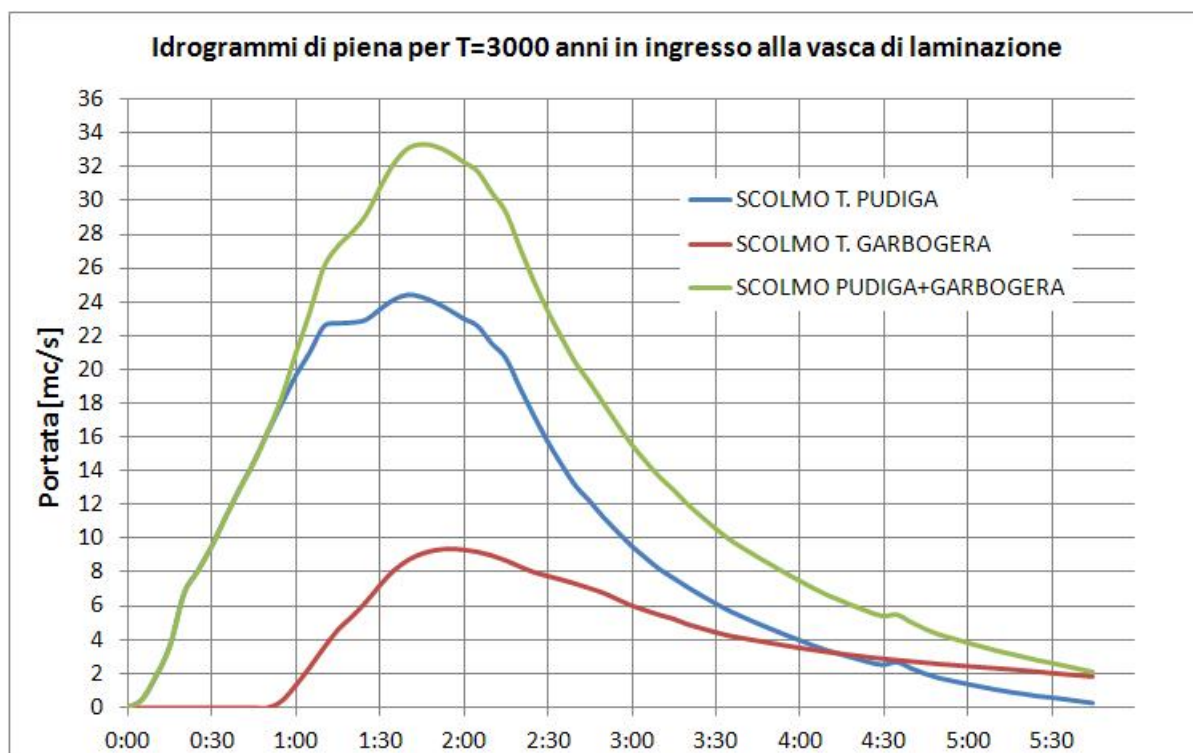


Figura 46 – Idrogrammi di piena del T. Garbogera e del T. Pudiga in ingresso alla vasca di laminazione con tempo di ritorno pari a 3000 anni

Tali portate sono le uniche che devono essere smaltite attraverso lo scarico di superficie, in quanto è nulla la portata proveniente del T. Seveso; infatti, quando il livello nell'invaso di laminazione è prossimo alla quota di sfioro dello scarico di superficie viene effettuata la parziale chiusura della paratoia di Palazzolo sul Seveso in corrispondenza dell'opera di presa del CSNO, in modo da lasciar defluire nel CSNO una portata prossima a $25 \text{ m}^3/\text{s}$, che non attiva la soglia di sfioro dal CSNO nella vasca di laminazione.

6.6.3 Dimensionamento dello scarico di superficie del II settore

Considerando i valori di portata riportati nel paragrafo precedente si ha che la portata di dimensionamento dello scarico di superficie è pari a $33.5 \text{ m}^3/\text{s}$ (trascurando l'effetto di

laminazione).

Calcolando, invece, l'effetto di laminazione dell'invaso tramite l'equazione di continuità per quote superiori al livello della soglia dello sfioratore di emergenza, posta a 159.0 m s.m., il valore della portata al colmo in corrispondenza della sfioratore di emergenza risulta essere pari a 31.5 m³/s (cfr. Figura 47).

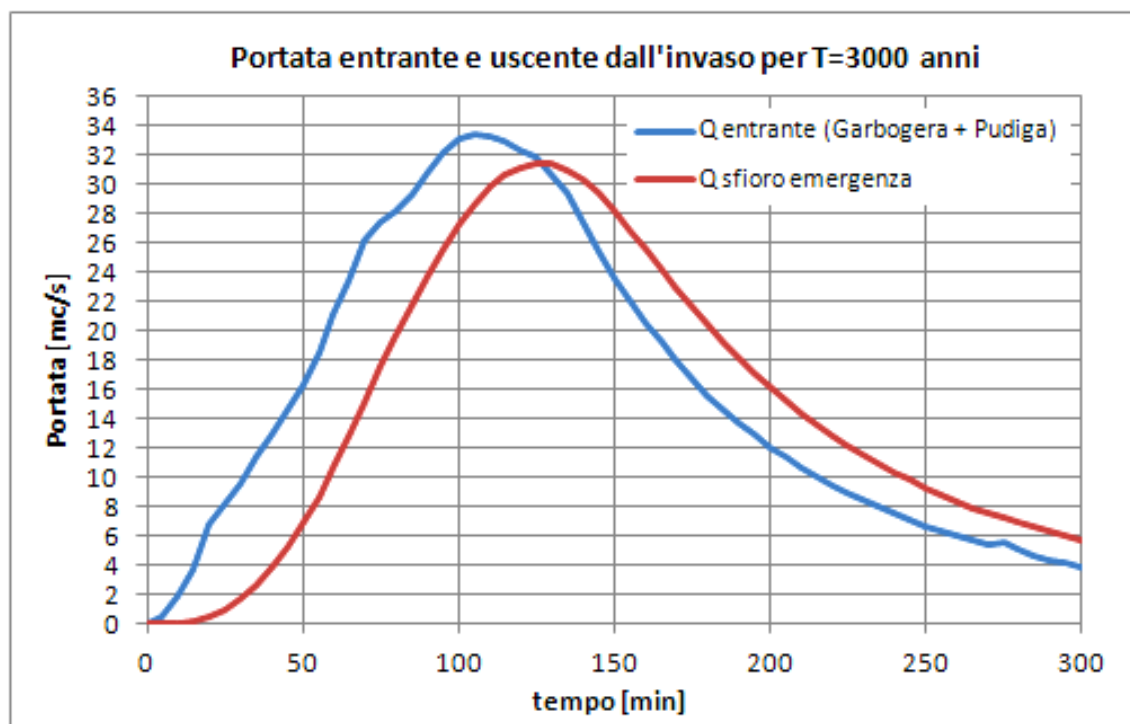


Figura 47 – Portate in ingresso e in uscita dall'invaso attraverso il manufatto di sfioro di emergenza, per tempo di ritorno pari a 3000 anni

Per il dimensionamento dello sfioratore di emergenza si è utilizzata la legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata, pari a 31.5 m³/s (considerando l'effetto di laminazione);
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.48, tenendo conto del profilo *Creager-Scimemi*;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Considerando una larghezza utile della soglia sfiorante pari a 30 m, si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0,63 m. La soglia è prevista con una larghezza totale pari a 35 m, considerando quindi l'effetto di contrazioni laterali della corrente.

La quota della soglia di sfioro dello scarico di superficie è posta pari alla quota di regolazione, pari a 159.00 m s.m., per cui il livello di massimo invaso risulta essere pari a 159.63 m s.m..

I calcoli sopra riportati sono validi qualora lo sfioratore di superficie risulti non essere rigurgitato da valle.

Per verificare il funzionamento idraulico della soglia di sfioro di emergenza occorre determinare il livello idrico che si instaura nel CSNO. Le portate che si immettono nel CSNO durante un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 3000 anni sono le seguenti:

- portata proveniente dal T. Seveso, pari a 25 m³/s;
- portata scaricata dal T. Garbogera direttamente nel CSNO, caratterizzata da un valore al colmo pari a 7 m³/s;
- portata scaricata dal T. Pudiga direttamente nel CSNO, caratterizzata da un valore al colmo pari a 14.5 m³/s;
- portata scaricata dallo sfioratore di emergenza, caratterizzata da un valore al colmo pari a 31.3 m³/s (tale valore è ottenuto considerando le portate che a 3000 anni di tempo di ritorno vengono sfiorate nell'invaso del T. Garbogera e T. Pudiga e gli effetti di laminazione dell'invaso – cfr. Figura 47).

La sommatoria di tali portate, relativa al tratto a valle dello scarico del T. Pudiga nel CSNO, porta ad un idrogramma di piena caratterizzato da un valore al colmo di 77.5 m³/s. Tale valore di portata è superiore a quello definito nel progetto di adeguamento del CSNO (progetto di AIPO e della Provincia di Milano del 2009 “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781*”), che, a valle dello scarico del T. Pudiga, è pari a 43 m³/s nell'assetto di progetto e 55 m³/s in assetto transitorio.

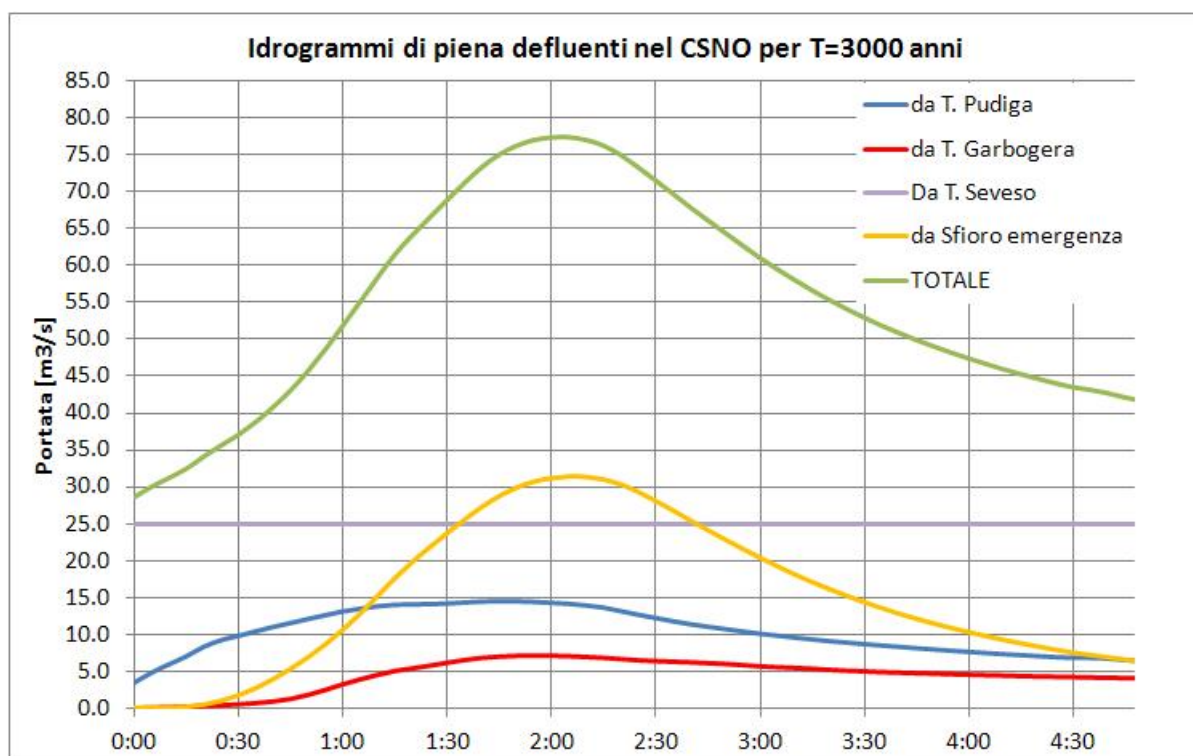


Figura 48 – Idrogrammi di piena immessa nel CSNO con tempo di ritorno pari a 3000 anni

Ciò premesso, per determinare il livello di piena nel CSNO in corrispondenza dello sfioratore di emergenza è stato implementato un modello idraulico del CSNO nel tratto a monte dell'attraversamento della ferrovia Milano – Novara (sezione CN 136). Come condizione al contorno di valle (livello a monte del ponte) è stato assunto un livello pari a 159 m s.m. (altezza idrica pari a 4.57 m), ricavato considerando la sezione di deflusso a monte del ponte (rettangolare con base pari a 5.3 m con quota di fondo pari a 154.46 m s.m.), il livello di piena corrispondente alla portata di 55 m³/s, pari a 157.31 m s.m. (altezza idrica pari a 3.3 m) e considerando, a favore di sicurezza, che all'aumentare della portata si mantenga invariata la velocità media della corrente ($v=3.2$ m/s).

Nella Figura 49 è riportato il profilo di corrente del CSNO nel tratto a monte del ponte della ferrovia.

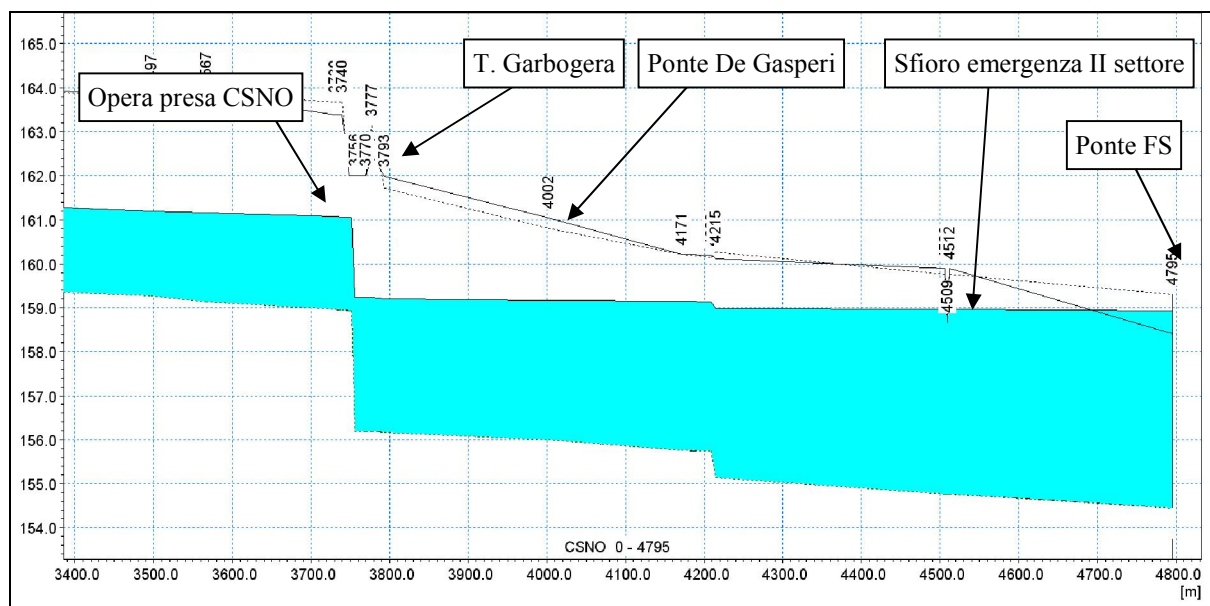


Figura 49 – Profilo del CSNO con T=3000 anni (considerando anche l'intervento di adeguamento del CSNO tra T. Garbogera e T. Pudiga previsto nel presente progetto)

Con tale livello di piena nel CSNO lo sfioratore di emergenza non è completamente libero, per cui non è corretto considerare un coefficiente di efflusso pari a 0.48.

Pertanto è stato rifatto il calcolo dello sfioratore considerando un coefficiente di efflusso pari a 0.385 (come se fosse a larga soglia).

Utilizzando ancora la legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata, pari a 31.5 m³/s (considerando l'effetto di laminazione);
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.385;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una larghezza utile della soglia sfiorante pari a 30 m (la soglia è prevista con una larghezza totale pari a 35 m per tenere conto di contrazioni laterali della corrente), si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0,73 m, per cui, essendo la quota della soglia di sfioro pari a 159.00 m s.m., si ha che la quota di massimo invaso risulta essere pari a 159.73 m s.m..

A.T.P.:		Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>
			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

6.6.4 Dimensionamento dello scarico di superficie del III settore

La condizione più cautelativa da considerare per il dimensionamento dello sfioratore di superficie del III settore prevede l'esclusione dal sistema di laminazione del II settore per manutenzione, per cui l'intera portata con tempo di ritorno pari a 3000 anni giunge interamente nel III settore attraverso il manufatto a pozzo di collegamento tra i vari settori. Pertanto, considerando i valori di portata riportati in precedenza si ha che la portata di dimensionamento dello scarico di superficie è pari a circa 31.5 m³/s (considerando l'effetto di laminazione).

Per il dimensionamento dello sfioratore di emergenza si utilizza la legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo:

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata, pari a 31.5 m³/s (considerando l'effetto di laminazione);
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.48, tenendo conto del profilo *Creager-Scimemi*;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una larghezza utile della soglia sfiorante pari a 30 m, si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0,63 m. La soglia è prevista con una larghezza totale pari a 35 m, considerando quindi l'effetto di contrazioni laterali della corrente.

La quota della soglia di sfioro dello scarico di superficie del III settore è posta alla quota di 159.25 m s.m., superiore del livello idrico che durante l'evento di piena con T=3000 anni si instaura all'interno del CSNO (pari a 159.17 m s.m., come più oltre descritto) in corrispondenza del manufatto di sfioro, per cui il livello di massimo invaso risulta essere pari a 159.88 m s.m..

I calcoli sopra riportati sono validi qualora lo sfioratore di superficie risulti non essere rigurgitato da valle.

Per verificare il funzionamento idraulico della soglia di sfioro di emergenza occorre determinare il livello idrico che si instaura nel CSNO. Le portate che si immettono nel CSNO durante un evento di piena caratterizzato da un tempo di ritorno pari a 3000 anni sono le seguenti:

- portata proveniente dal T. Seveso, pari a 25 m³/s;
- portata scaricata dal T. Garbogera direttamente nel CSNO, caratterizzata da un valore al colmo pari a 7 m³/s;
- portata scaricata dal T. Pudiga direttamente nel CSNO, caratterizzata da un valore al colmo pari a 14.5 m³/s;
- portata scaricata dallo sfioratore di emergenza, caratterizzata da un valore al colmo pari a 31.3 m³/s (tale valore è ottenuto considerando le portate che a 3000 anni di tempo di ritorno vengono sfiorate nell'invaso del T. Garbogera e T. Pudiga e gli effetti di laminazione dell'invaso – cfr. Figura 47).

La sommatoria di tali portate, relativa al tratto a valle dello scarico del T. Pudiga nel CSNO, porta ad un idrogramma di piena caratterizzato da un valore al colmo di 77.5 m³/s. Tale valore di portata è superiore a quello definito nel progetto di adeguamento del CSNO (progetto di AIPO e della Provincia di Milano del 2009 “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781*”), che, a valle dello scarico del T. Pudiga, è pari a 43 m³/s nell'assetto di progetto e 55 m³/s in assetto transitorio.

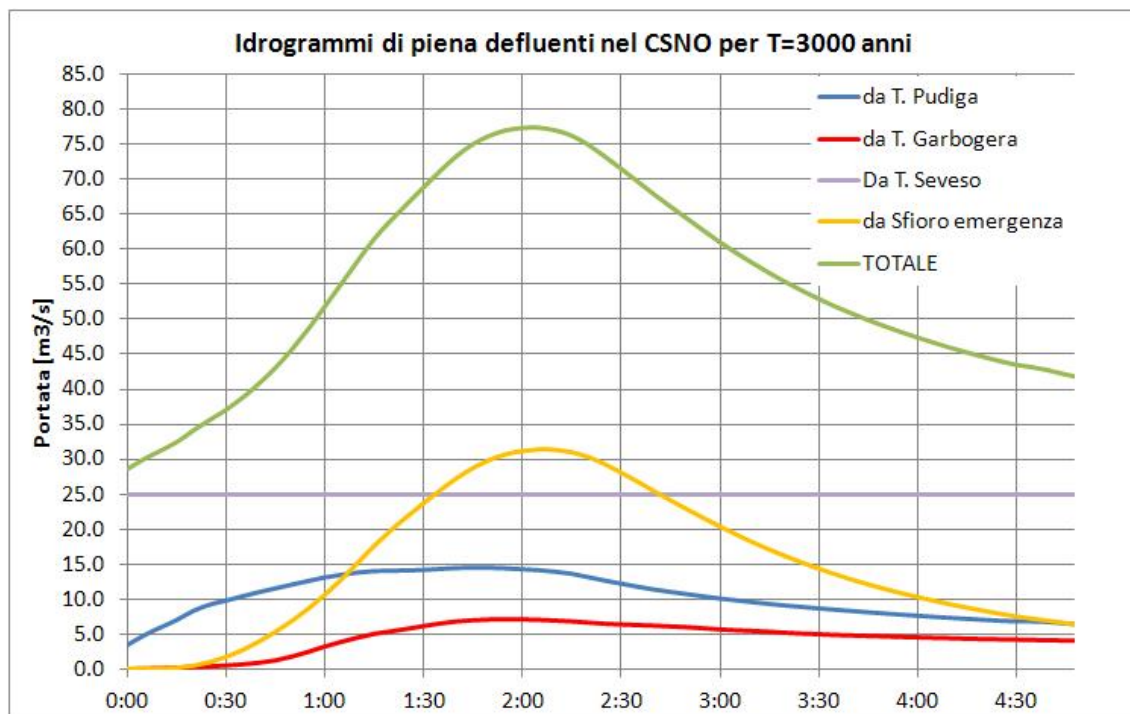


Figura 50 – Idrogrammi di piena immessa nel CSNO con tempo di ritorno pari a 3000 anni

Ciò premesso, per determinare il livello di piena nel CSNO in corrispondenza dello sfioratore di emergenza del III settore è stato implementato un modello idraulico del CSNO nel tratto a monte dell'attraversamento della ferrovia Milano – Novara (sezione CN 136). Come condizione al contorno di valle (livello a monte del ponte) è stato assunto un livello pari a 159 m s.m. (altezza idrica pari a 4.57 m), ricavato considerando la sezione di deflusso a monte del ponte (rettangolare con base pari a 5.3 m con quota di fondo pari a 154.46 m s.m.), il livello di piena corrispondente alla portata di 55 m³/s, pari a 157.31 m s.m. (altezza idrica pari a 3.3 m) e considerando, a favore di sicurezza, che all'aumentare della portata si mantenga invariata la velocità media della corrente ($v=3.2$ m/s).

Nella Figura 51 è riportato il profilo di corrente del CSNO nel tratto a monte del ponte della ferrovia.

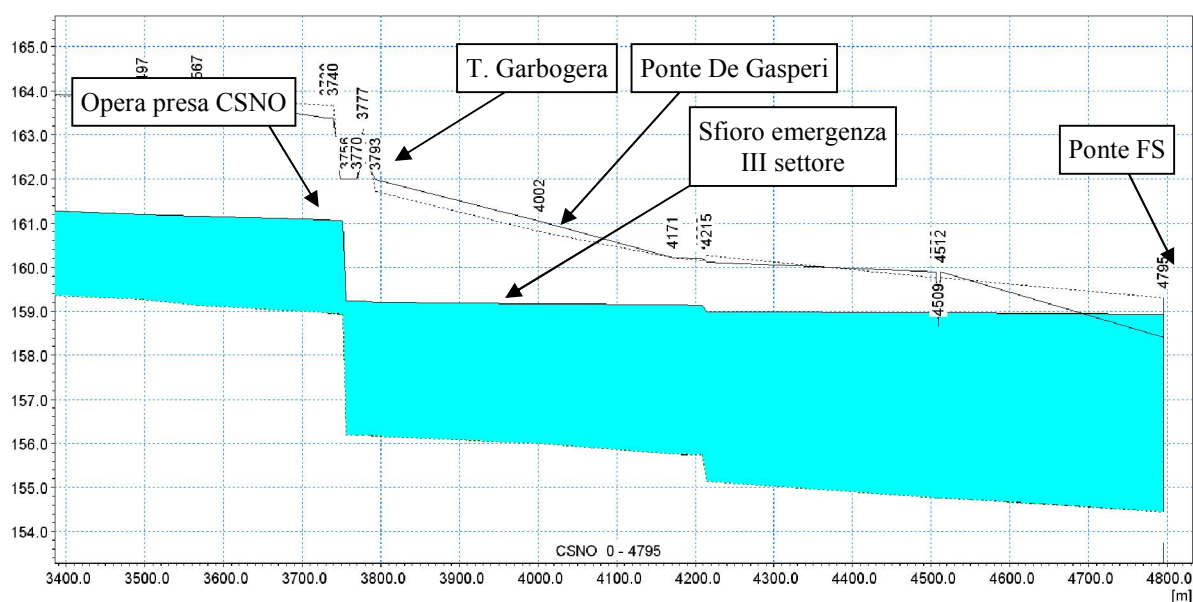


Figura 51 – Profilo del CSNO con T=3000 anni (considerando anche l'intervento di adeguamento del CSNO tra T. Garbogera e T. Pudiga previsto nel presente progetto)

Con tale livello di piena nel CSNO lo sfioratore di emergenza non è completamente libero, per cui non è del tutto corretto considerare un coefficiente di efflusso pari a 0.48.

Pertanto è stato rifatto il calcolo dello sfioratore considerando un coefficiente di efflusso pari a 0.385 (come se fosse a larga soglia).

Pertanto, utilizzando ancora la legge di efflusso dello sfioratore a stramazzo ad asse rettilineo:

A.T.P.:		Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>
			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

$$Q(t) = \mu \cdot L \cdot h(t)^{3/2} \cdot \sqrt{2g}$$

dove:

- $Q(t)$ è la portata sfiorata, pari a 31.5 m³/s (considerando l'effetto di laminazione);
- μ è il coefficiente di efflusso, pari a 0.385;
- L è la lunghezza dello sfioratore [m];
- $h(t)$ è l'innalzamento del pelo libero, misurato dal punto più elevato del ciglio sfiorante [m].

Considerando una larghezza utile della soglia sfiorante pari a 30 m (la soglia è prevista con una larghezza totale pari a 35 m per tenere conto di contrazioni laterali della corrente), si ha che l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia è pari a 0,73 m, per cui, essendo la quota della soglia di sfioro pari a 159.25 m s.m., si ha che la quota di massimo invaso nel III settore risulta essere pari a 159.98 m s.m..

6.6.5 Determinazione della quota di coronamento delle arginature perimetrali

Per la determinazione della quota delle arginature perimetrali si è fatto riferimento a quanto contenuto nel nuovo Regolamento Dighe, in base a quanto già detto nel precedente paragrafo 6.6.1.

In base a quanto indicato nel paragrafo precedente, il livello di massimo invaso nel II settore (senza III settore) è pari a 159.73 m s.m., mentre il livello di massimo invaso nel III settore (senza II settore) è pari a 159.98 m s.m..

Secondo quanto indicato dal Regolamento Dighe D. MIT. 26/06/2014 (G.U. 08/07/2014 n. 156), siccome l'opera in oggetto presenta delle arginature perimetrali in materiali sciolti, di altezza inferiore a 15 m, il franco netto di sicurezza deve essere almeno pari ad 1.5 m.

A tale valore deve essere aggiunto il previsto abbassamento del coronamento derivante dai cedimenti del terreno e del rilevato dopo il termine di costruzione, nonché quelli derivanti dalle azioni sismiche; il RID afferma che tali cedimenti devono essere assunti almeno pari a 0.5 cm per metro di altezza del rilevato. Nel caso in oggetto, considerando che l'altezza massima del rilevato è pari a 2.8 m, si ha che il cedimento del coronamento può essere assunto pari a 1.4 cm, per cui il valore del franco netto sale a 1.514 m.

Il franco netto è dato dalla differenza tra la quota del piano di coronamento e quella del massimo invaso, incrementata della semialtezza della maggiore tra l'onda generata dal vento

A.T.P.:				Consulenti:	
		Studio Associato di Geologia Spada	Dott. Ing. C. Tonetto		Prof. Dott. V. Mezzanotte

ovvero quella di massima regolazione incrementata della semialtezza dell'onda da sisma di progetto. Secondo i contenuti dell'art. C2 del RID secondo cui “*si assume che il franco netto così garantito [con semionda generata dal vento] sia sempre adeguato nei confronti dell'onda generata dal sisma*”, per cui la valutazione del franco netto è stata condotta considerando l'effetto del vento.

Considerando, a favore di sicurezza, il valore massimo della velocità del vento riportata nell'art.C2, pari a 100 km/h e un fetch di 1 km (in realtà il fetch dell'invaso in oggetto è pari a 350 m), si ha che l'ampiezza dell'onda è pari a 0.27 m, per cui la semionda è pari a 0.135 m.

Per il calcolo del franco netto occorre considerare anche i fenomeni di interazione tra moto ondoso e diga, quali “riflessione” e “risalita” (run-up). Sempre secondo i contenuti dell'art. C2 il valore di riferimento del run-up per un fetch di 1 km è pari a 0.033 m.

Pertanto, il valore del franco netto per il II settore di invaso è pari a:

$$F_{\text{netto}} = H_{\text{coronamento}} - (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) - h_{\text{cedimento argine}} > 1.5 \text{ m}$$

quindi

$$H_{\text{coronamento}} > (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) + h_{\text{cedimento argine}} + 1.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{coronamento}} > (159.73 + 0.135 + 0.033) + 0.014 + 1.5 = 161.412 \text{ m}$$

Siccome la quota di coronamento delle arginature perimetrali del II settore è pari a 161.80 m s.m., si ha che il franco netto è pari a 1.89 m, quindi è superiore al valore minimo definito dal RID.

Considerando ora il III settore, il valore del franco netto è pari a:

$$F_{\text{netto}} = H_{\text{coronamento}} - (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) - h_{\text{cedimento argine}} > 1.5 \text{ m}$$

quindi

$$H_{\text{coronamento}} > (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) + h_{\text{cedimento argine}} + 1.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{coronamento}} > (159.98 + 0.135 + 0.033) + 0.014 + 1.5 = 161.66 \text{ m}$$

Siccome la quota di coronamento delle arginature perimetrali del III settore è pari a 161.80 m s.m., si ha che il franco netto è pari a 1.64 m, quindi è superiore al valore minimo definito dal RID.

Per definire la quota di coronamento delle arginature del I settore, occorre tener conto anche delle perdite di carico che si hanno all'interno del pozzo e del sistema di collegamento tra il I e III settore invaso (senza considerare il II settore).

Considerando la portata di 33,5 m³/s (T = 3'000 anni), le dimensioni delle tubazioni di

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

collegamento tra il fondo del pozzo e il III settore (2 ϕ 3.2 m), e le perdite di imbocco e sbocco ($k=1.5$), si ha che la perdita di carico tra il I e il III settore è pari a circa 0.5 m.

Pertanto, il livello di massimo invaso nel I settore è pari a 160.5 m s.m..

Per il calcolo del franco netto si ha:

$$F_{\text{netto}} = H_{\text{coronamento}} - (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) - h_{\text{cedimento argine}} > 1.5 \text{ m}$$

quindi

$$H_{\text{coronamento}} > (H_{\text{massimo invaso}} + h_{\text{semionda vento}} + h_{\text{run-up}}) + h_{\text{cedimento argine}} + 1.5 \text{ m}$$

$$H_{\text{coronamento}} > (160.50 + 0.135 + 0.033) + 0.014 + 1.5 = 162.18 \text{ m}$$

Pertanto, per rispettare la normativa del RID, la quota di coronamento delle arginature perimetrali del I settore deve essere pari ad almeno 162.20 m s.m..

6.6.6 Dimensionamento degli scarichi di fondo

Lo svuotamento dell'invaso di Senago avviene attraverso lo scarico di fondo, che immette la portata nel CSNO. Le modalità di scarico per i tre settori d'invaso sono:

- *I settore*: viene interamente svuotato a gravità (dalla quota di massima regolazione, pari a 159.0 m s.m., fino alla quota di fondo invaso, pari a 155.5 m s.m.);
- *II settore*: viene in parte svuotato a gravità (dalla quota di massima regolazione, pari a 159.0 m s.m., fino alla quota pari a circa 155.5 m s.m.) e in parte per sollevamento (dalla quota di 155.5 m s.m. fino alla quota di fondo dell'invaso, pari a 149.0 m s.m.). Il volume che può essere scaricato a gravità è pari a circa 200'000 m³ (40% del volume di invaso del II settore pari a 495.000 m³), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 295'000 m³ (60% del volume di invaso del II settore);
- *III settore*: viene in parte svuotato a gravità (dalla quota di massima regolazione fino alla quota pari a circa 155.5 m s.m.) e in parte per sollevamento (dalla quota di 155.5 m s.m. fino alla quota di fondo dell'invaso, pari a 149.0 m s.m.). Il volume che può essere scaricato a gravità è pari a circa 115'000 m³ (43% del volume di invaso del III settore pari a 265.000 m³), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 150'000 m³ (57% del volume di invaso del III settore).

Complessivamente si ha che il volume invasato che può essere scaricato nel CSNO a gravità è pari a 365'000 m³ (45% del volume di invaso totale di 810.000 m³), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 445'000 m³ (55% del volume di invaso totale).

In genere si potrà procedere prima allo svuotamento del primo settore (in modo tale da renderlo disponibile ad un altro evento nel più breve tempo possibile) e successivamente procedere allo svuotamento del secondo e del terzo settore.

Scarico di fondo I settore

Lo scarico di fondo del primo settore è previsto con uno scatolare in cls 2,0 x 2,0 m con quota di scorrimento di 155,50 m s.m. in corrispondenza della bocca di fondo del serbatoio e con quota di scorrimento di 155,25 m s.m. in corrispondenza dello sbocco terminale nel CSNO. Essendo pari a 250 m la lunghezza dello scatolare, la pendenza dello stesso è pari all'uno per mille. Il livello di massima regolazione è pari a 159,00 m s.m.

La bocca di scarico in corrispondenza della luce di fondo del serbatoio è dotata di paratoia piana normalmente chiusa, come indicato nella tavola D.14. Inoltre la geometria della bocca indica che l'efflusso avviene con contrazione del bordo vena superiore rappresentabile con un coefficiente di efflusso μ pari a 0,6.

La portata massima di progetto dello scarico di fondo è assunta pari a 5 m³/s, come da Progetto Preliminare aprile 2013, in corrispondenza del livello di massima regolazione di 159 m s.m. con il quale si determina un tirante idrico di 3,5 m rispetto al fondo di scorrimento della bocca.

Per verificare il requisito imposto dal nuovo RID, che richiede che il 75% dell'invaso sia svuotato in non più di 3 giorni, occorre integrare il sistema delle equazioni:

$$\left\{ \begin{array}{ll} Q_u = - \frac{dW}{dt} & \text{eq. continuità} \\ Q_u = \mu \sigma \sqrt{2g(h - h_b)} & \text{legge d'efflusso dalla bocca a battente} \\ W = f(h) & \text{legge d'invaso} \end{array} \right.$$

in cui:

- Q_u è la portata uscente dalla bocca;
- μ e σ sono rispettivamente il coefficiente d'efflusso e l'area della bocca;
- h è il carico idraulico rispetto al fondo della bocca;
- h_b è l'altezza del pelo libero nella sezione contratta a valle della bocca.

Imponendo che per il livello idrico di 159,0 m s.m. (livello di massima regolazione) il volume d'invaso del I settore sia pari al valore massimo pari a circa 45'000 m³, che per il livello idrico di 156,0 m s.m. tale volume sia praticamente nullo (in realtà è pari a 2'000 m³) e che,

tenendo conto delle pendenze regolari delle sponde, la superficie dello specchio liquido diminuisca linearmente con il tirante, la legge d'invaso (terza equazione) è data dalla:

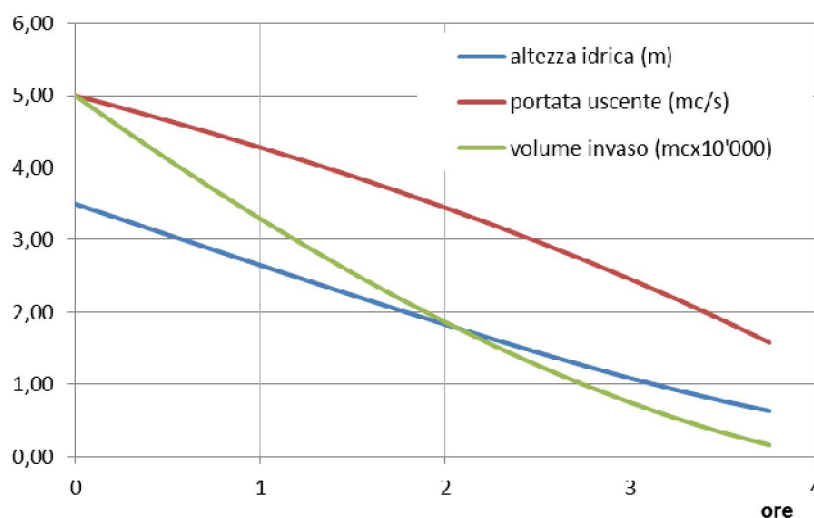
$$W = 1600 \cdot h^2 + 11870 \cdot h \quad \text{legge d'invaso}$$

La paratoia posta nella bocca d'efflusso con quota di scorrimento 155,50 m s.m. deve essere regolata in modo da lasciare una luce libera sul fondo di 0,527 m di altezza; infatti con tale luce, assumendo un coefficiente d'efflusso pari a 0.6, la portata effluente in corrispondenza del livello di massima regolazione è pari a:

$$Q_u = 0,6 * 2,0 * 0,527 \sqrt{2g(3,5 - 0,527 * 0,6)} = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con tali condizioni l'integrazione del sopra citato sistema di equazioni conduce ad individuare gli andamenti nel tempo delle funzioni h , Q_u e W riportati nella tabella e nel grafico seguenti. Come si vede si ottiene che il tempo necessario per lo svuotamento quasi completo dell'invaso è pari a circa 3,75 ore, mentre per uno svuotamento del 75% del volume d'invaso (dal valore iniziale di 50'000 m³ al valore di 50'000*0,25 = 12.500 m³) avviene in circa 2,5 ore.

t (ore)	h (m)	S (m ²)	W (m ³)	Q _u (m ³ /s)
0	3,50	18.323,00	50.010,00	5,00
0,25	3,29	17.864,92	45.510,25	4,83
0,5	3,07	17.407,69	41.163,60	4,65
0,75	2,86	16.951,98	36.975,34	4,47
1	2,65	16.498,62	32.951,15	4,28
1,25	2,44	16.048,60	29.097,10	4,09
1,5	2,24	15.603,09	25.419,73	3,88
1,75	2,03	15.163,53	21.926,04	3,67
2	1,83	14.731,66	18.623,58	3,45
2,25	1,63	14.309,56	15.520,47	3,22
2,5	1,44	13.899,72	12.625,42	2,98
2,75	1,26	13.505,13	9.947,82	2,72
3,0	1,09	13.129,31	7.497,75	2,46
3,25	0,92	12.776,41	5.286,03	2,18
3,50	0,77	12.451,24	3.324,33	1,89



Scarico di fondo del II e del III settore

Il secondo settore dell'invaso è collegato al pozzo, nel semicerchio sud dove sono presenti i manufatti di scarico in grado di effettuare lo svuotamento dell'invaso.

Il terzo settore dell'invaso è collegato direttamente nel semicerchio nord del pozzo attraverso n. 2 condotti circolari di diametro pari a 3.2 m (sono gli stessi che servono per alimentare il terzo settore quando il secondo è pieno) e, attraverso un'apertura di dimensioni 2x2 m posta nel setto centrale del pozzo che divide il semicerchio nord da quello sud, è collegato anche al settore sud dove sono presenti i manufatti di scarico del pozzo.

La porzione di volume del secondo e terzo settore che può essere svuotata a gravità viene immessa nel suddetto canale di scarico nel CSNO attraverso un tratto di canale scatolare 2x2 m proveniente dal pozzo. Tale tronco di canale è caratterizzato anch'esso da una quota di fondo pari a circa 155.5 m s.m. in corrispondenza della bocca di fondo del serbatoio e con quota di scorrimento di 155,25 m s.m. in corrispondenza dello sbocco terminale nel CSNO. Il livello di massima regolazione è pari a 159,00 m s.m.

La bocca di scarico in corrispondenza della luce di fondo del serbatoio è dotata di paratoia piana normalmente chiusa. Inoltre la geometria della bocca indica che l'efflusso avviene con contrazione del bordo vena superiore rappresentabile con un coefficiente di efflusso μ pari a 0,6.

La portata massima di progetto dello scarico di fondo è assunta pari a 5 m³/s, come da Progetto Preliminare aprile 2013, in corrispondenza del livello di massima regolazione di 159 m s.m. con il quale si determina un tirante idrico di 3,5 m rispetto al fondo di scorrimento

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

della bocca.

Una volta che il livello idrico nel II e III settore è sceso al di sotto di 155,50 m s.m. lo svuotamento dei due settori dell'invaso procede mediante la stazione di sollevamento, la quale è dimensionata per una portata nominale pari a 5 m³/s.

Considerando la porzione che viene scaricata a gravità e procedendo analogamente come per il primo settore, imponendo che per il livello idrico di 159,0 m s.m. (livello di massima regolazione) il volume d'invaso del II e III settore sia pari al valore massimo pari a circa 760'000 m³, che per il livello idrico di 155,5 m s.m. tale volume sia pari a circa 445'000 m³ e che, tenendo conto delle pendenze regolari delle sponde, la superficie dello specchio liquido diminuisca linearmente con il tirante, la legge d'invaso (terza equazione) è data dalla:

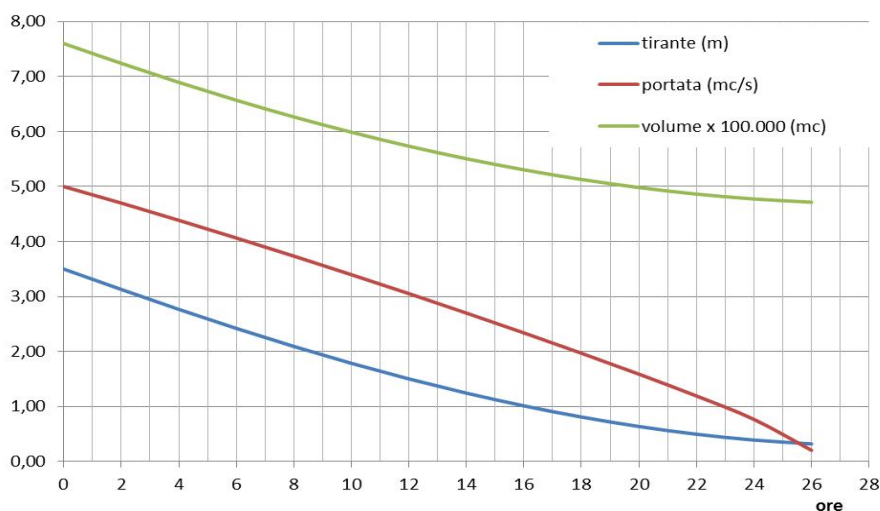
$$W = 2286 \cdot h^2 + 82000 \cdot h + 445000 \quad \text{legge d'invaso}$$

La paratoia posta nella bocca d'efflusso con quota di scorrimento 155,50 m s.m. deve essere regolata in modo da lasciare una luce libera sul fondo di 0,527 m di altezza; infatti con tale luce, assumendo un coefficiente d'efflusso pari a 0,6, la portata effluente in corrispondenza del livello di massima regolazione è pari a:

$$Q_u = 0,6 * 2,0 * 0,527 \sqrt{2g(3,5 - 0,527 * 0,6)} = 5,0 \text{ m}^3/\text{s}$$

Con tali condizioni l'integrazione del sopra citato sistema di equazioni conduce ad individuare gli andamenti nel tempo delle funzioni h , Q_u e W riportati nella tabella e nel grafico seguenti. Come si vede si ottiene che il tempo necessario per lo svuotamento della porzione a gravità è pari a circa 26 ore.

t (ore)	h (m)	Livello (m s.m.)	S (mq)	W (mc)	Qu (mc/s)
0	3,50	159,00	98.002,00	760.003,50	5,00
2	3,13	158,63	96.307,98	724.005,47	4,70
4	2,77	158,27	94.650,82	689.398,26	4,39
6	2,42	157,92	93.068,95	656.923,61	4,07
8	2,09	157,59	91.572,42	626.704,83	3,74
10	1,79	157,29	90.171,18	598.854,15	3,40
12	1,50	157,00	88.874,91	573.472,10	3,05
14	1,25	156,75	87.692,87	550.647,40	2,70
16	1,01	156,51	86.633,87	530.457,89	2,34
18	0,81	156,31	85.706,14	512.972,62	1,97
20	0,64	156,14	84.917,46	498.256,27	1,59
22	0,50	156,00	84.275,52	486.378,23	1,19
24	0,39	155,89	83.788,88	477.434,05	0,77
26	0,32	155,82	83.470,78	471.615,40	0,21



La porzione di volume del secondo e terzo settore che deve essere svuotata per sollevamento viene immessa nel suddetto canale di scarico nel CSNO attraverso delle pompe sommergibili che sollevano l'acqua in una vasca di raccolta adiacente al pozzo e idraulicamente connessa al suddetto canale di scarico.

Le pompe di sollevamento previste in progetto sono 4+1 e hanno le seguenti caratteristiche nominali principali:

- Tipo pompa: idrovora

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- Portata nominale: 1220 l/s
- Prevalenza: 6 m
- Campo rendimento totale: 74%
- Potenza nominale: 125 kW

I valori sopra riportati variano in funzione del livello idrico all'interno del pozzo. Di seguito si riporta la curva caratteristica della pompa.

A ciascuna pompa è collegato una tubazione di mandata DN800 mm.

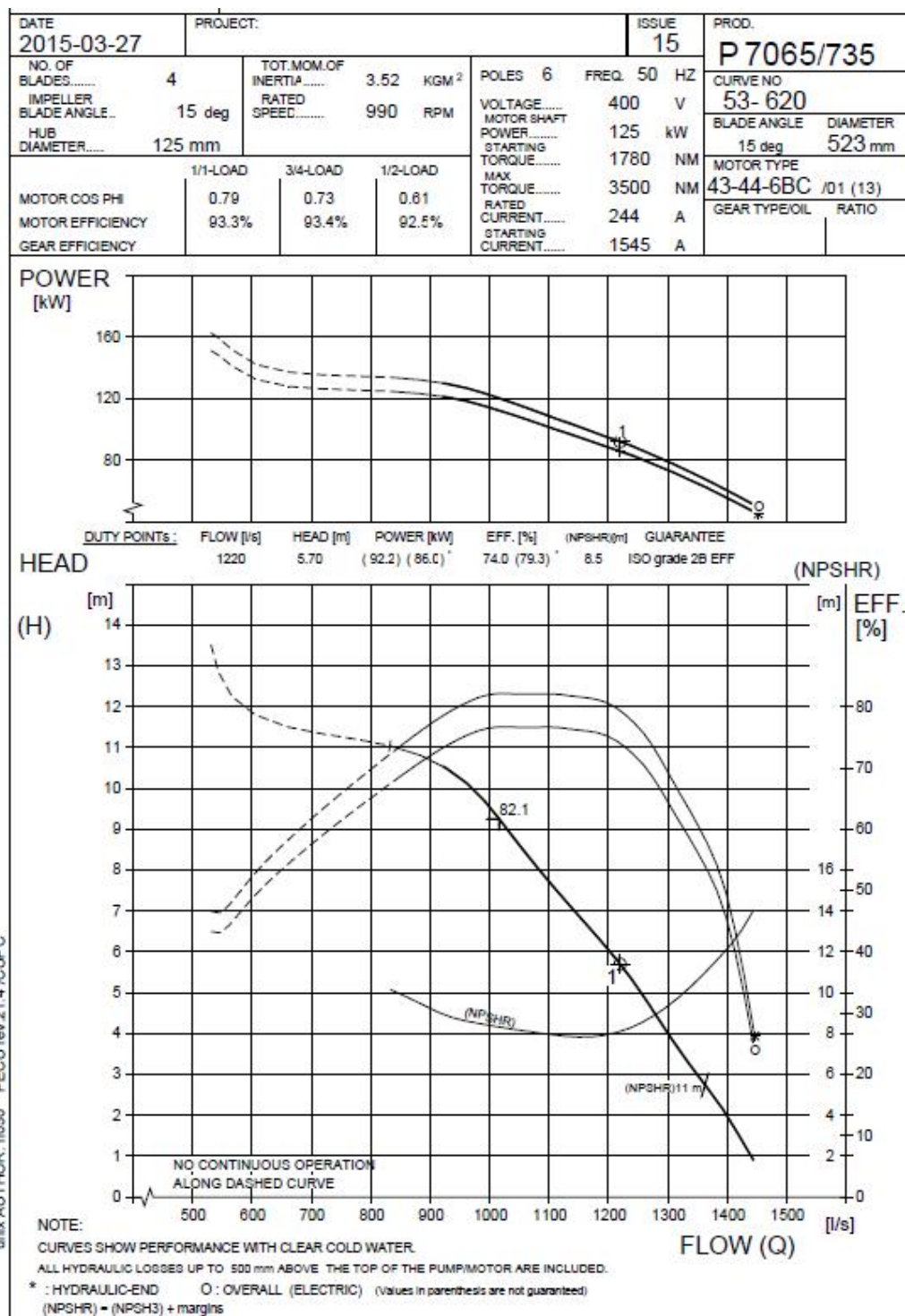


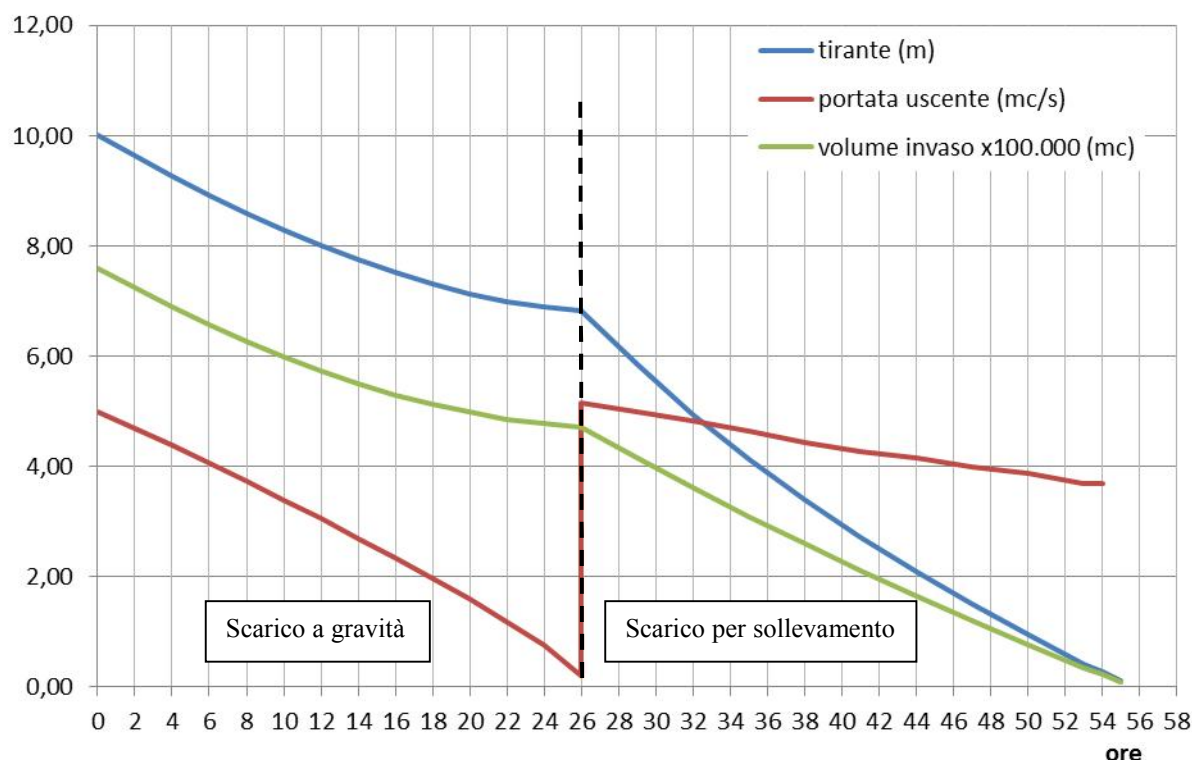
Figura 52 – Curva caratteristica della pompa

Per valutare il tempo necessario a svuotare mediante le suddette pompe la porzione dei due settori di invaso compresi tra le quote 149,00 m s.m. e 155,50 m s.m., occorre procedere

analogamente al caso precedente, considerando la portata delle pompe in funzione del carico idraulico e delle perdite distribuite e concentrate lungo l'impianto di sollevamento.

t (ore) rispetto inizio svuotamento a gravità	Livello (m s.m.)	Prevalenza pompe (geodetica + perdite di carico)	Qu (mc/s)	W (mc)
26	155,82	4,18	5,16	415870,66
29	154,84	5,16	5,00	361870,66
32	153,95	6,05	4,84	309598,66
35	153,14	6,86	4,64	259486,66
38	152,40	7,60	4,44	211534,66
41	151,72	8,28	4,28	165310,66
44	151,09	8,91	4,16	120382,66
47	150,50	9,50	4,00	77182,66
50	149,95	10,05	3,88	35278,66
53	149,43	10,57	3,68	22030,66
54	149,27	10,73	3,68	8782,66
55	149,11	10,89		

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 del secondo e terzo settore dell'invaso. Il tempo complessivo per svuotare i due settori è pari a circa 55 ore, di cui 26 ore a gravità e 29 ore per sollevamento.



Per lo svuotamento del 75% dell'invaso dei settori 2 e 3, pari a 570'000 m³ (invaso residuo pari a 190'000 m³), occorrono 43 ore.

Scarico di fondo dei tre settori

Complessivamente, il tempo totale di svuotamento dell'invaso è pari a circa 59 ore, di cui 3,75 ore per il I settore e 55 ore per i settori II e III.

Il tempo di svuotamento del 75% del volume di invaso avviene in circa 45,5 ore (2,5 ore per il 75% del I settore e 43 ore per il 75% del II e III settore), che è inferiore ai 3 giorni richiesti dal RID.

Canale di scarico

Come detto in precedenza, il canale di scarico ha una lunghezza di circa 250 m ed è caratterizzato da una quota di fondo nella sezione iniziale pari a 155.5 m s.m., mentre la quota di fondo in corrispondenza dello sbocco nel CSNO è stata posta pari a 155.25 m s.m.. La pendenza del canale è pertanto pari a 1‰.

Considerando un coefficiente di scabrezza pari a $k_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, l'altezza di moto uniforme corrispondente alla portata di 5 m³/s è pari a circa 1.6 m.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

7. ADEGUAMENTO DEL CSNO NEL TRATTO CONFLUENZA GARBOGERA – CONFLUENZA PUDIGA

7.1 SCENARI IDRAULICI E OPERE IN PROGETTO

Il presente progetto prevede la realizzazione di opere di adeguamento del tratto di CSNO nel tratto compreso tra la vasca di Senago e l'immissione del T. Pudiga al fine di uniformarne la capacità idraulica al tratto di CSNO posto a valle dell'immissione del T. Pudiga.

Le opere in progetto, che costituiscono l'adeguamento del tratto di CSNO compreso tra l'opera di sfioro nella vasca di Senago e l'immissione del T. Pudiga, sono le seguenti:

- abbassamento del fondo alveo di 75 cm tra la sezione CN 142 (Ponte canale Garbogera) e la sezione CN 139, per un tratto di lunghezza di circa 410 m;
- risezionamento del canale per un tratto di lunghezza di circa 410 m con la formazione di sezioni trapezoidali aventi larghezza di base di 2 m e inclinazione delle sponde 3/4 (H/L).

Le verifiche idrauliche sono state condotte in moto permanente considerando le condizioni geometriche del CSNO previste nel Progetto Definitivo di adeguamento tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) della Provincia di Milano e nel presente progetto definitivo della vasca di Senago.

Gli assetti idraulici di progetto analizzati sono i seguenti:

- **Assetto Permanente** – Portata costante di 43 m³/s con franco di sicurezza pari a 1 m ovunque;
- **Assetto Temporaneo** – Portata costante di 55 m³/s con franco di sicurezza inferiore ad 1 m.

Nelle analisi effettuate, per entrambi gli scenari previsti, si è adottato uno scenario cautelativo che non considera il contributo della vasca di Senago, al fine di simulare eventuali situazioni di emergenza contraddistinte o dal momentaneo fuori servizio della vasca per manutenzione o dal completo riempimento del volume in essa disponibile per l'invaso. Al fine di consentire alla portata di 55 m³/s di transitare indisturbata dall'opera di presa della vasca di Senago senza attivarne lo sfioro, occorre effettuare la completa apertura della paratoia posta lungo il CSNO appena a valle della soglia di sfioro e contemporaneamente occorre innalzare le paratoie poste lungo la soglia sfiorante in modo tale da innalzare la quota di sfioro di 30 cm.

7.2 PORTATE DI PROGETTO

Nei capitoli precedenti sono state riportate le principali caratteristiche idrologico-idrauliche dei torrenti Seveso, Garbogera e Pudiga, sia nell'assetto attuale che nell'assetto di progetto.

In particolare, per ciascun corso d'acqua e assetto, sono stati definiti portate e volumi che vengono scaricati nel CSNO o invasati nella vasca di laminazione di Senago per alcuni valori del tempo di ritorno (10, 100 e 500 anni).

In sintesi, con riferimento ad un evento caratterizzato da un tempo di ritorno centennale per tutti e tre i corsi d'acqua, le portate scaricate nel CSNO allo stato attuale e in riferimento allo stato di progetto previsto dalla programmazione AdBPo sono le seguenti:

Stato Attuale

Seveso	Garbogera	Pudiga
30 m ³ /s	5,5 m ³ /s	13,3 m ³ /s

Stato di progetto

Seveso	Garbogera	Pudiga
60 m ³ /s	5,5 m ³ /s	13,3 m ³ /s

Di seguito si riportano le portate transitanti nel CSNO riferite allo stato di progetto che prevede sia gli interventi di adeguamento compresi nel progetto definitivo della Provincia di Milano “*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di nord ovest nel tratto compreso tra Senago (Mi) e Settimo Milanese (Mi) – MI.E.781*”, sia gli interventi compresi nel presente progetto definitivo.

Tratto	Portata
Da presa Seveso a presa Vasca di Senago	60 m ³ /s
Da presa Vasca di Senago al T. Garbogera	25 m ³ /s
Dal T. Garbogera al T. Pudiga	31 m ³ /s
Dal T. Pudiga al T. Nirone	43 m ³ /s

Di seguito si riportano anche le portate compatibili con un assetto transitorio del CSNO in cui

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

non è presente o attiva la vasca di laminazione di Senago e si considerano realizzate le opere previste nel suddetto progetto provinciale *“Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di nord ovest nel tratto compreso tra Senago (Mi) e Settimo Milanese (Mi) – M.I.E.78I”*.

Tratto	Portata
Da presa Seveso a presa Vasca di Senago	36 m ³ /s
Da presa Vasca di Senago al T. Garbogera	36 m ³ /s
Dal T. Garbogera al T. Pudiga	42 m ³ /s
Dal T. Pudiga al T. Nirone	55 m ³ /s

In relazione ai dati appena descritti ed al fine di incrementare e uniformare la capacità idraulica del CSNO a valle dell'opera di presa della vasca di Senago, lungo il tratto compreso tra l'immissione del torrente Garbogera e l'immissione del torrente Pudiga, gli interventi di adeguamento riguardanti sono stati dimensionati e verificati considerando due valori caratteristici di portata, rispettivamente pari a $Q_1 = 43 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_2 = 55 \text{ m}^3/\text{s}$. La portata Q_1 rappresenta la portata compatibile con il tratto di CSNO a valle dell'immissione del Pudiga nell'assetto di progetto definito da AdBPo, mentre la portata Q_2 rappresenta la portata compatibile in tale tratto nell'assetto definito transitorio in cui non è presente o non è attiva l'opera di laminazione di Senago.

7.3 MODELLAZIONE IDRAULICA

Le verifiche idrauliche delle condizioni di deflusso nel CSNO per gli scenari previsti sono state eseguite utilizzando il codice di calcolo MIKE 11 HD (modulo idrodinamico) del DHI Water Environment Health. Il modulo idraulico HD del modello MIKE 11 del Danish Hydraulic Institute consente, tramite la risoluzione delle equazioni differenziali di De Saint-Venant, di determinare i profili di corrente sia in condizioni di moto vario, che di moto permanente. Il modello simula il flusso monodimensionale e quasi-bidimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

La modellazione idraulica è stata realizzata utilizzando come base di partenza il modello

idraulico già utilizzato nello studio AIPO 2011, opportunamente integrato con le caratteristiche geometriche degli interventi previsti nel progetto definitivo provinciale “*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di nord ovest nel tratto compreso tra Senago (Mi) e Settimo Milanese (Mi) – MI.E.781*” e nel presente progetto definitivo.

Il tratto di CSNO modellato è compreso tra la presa di Palazzolo sul T. Seveso e la sezione CN 132, corrispondente all’immissione del T. Nirone, a valle del ponte della linea ferroviaria FF.SS. MI-Gallarate per una lunghezza complessiva di circa 5330 m.

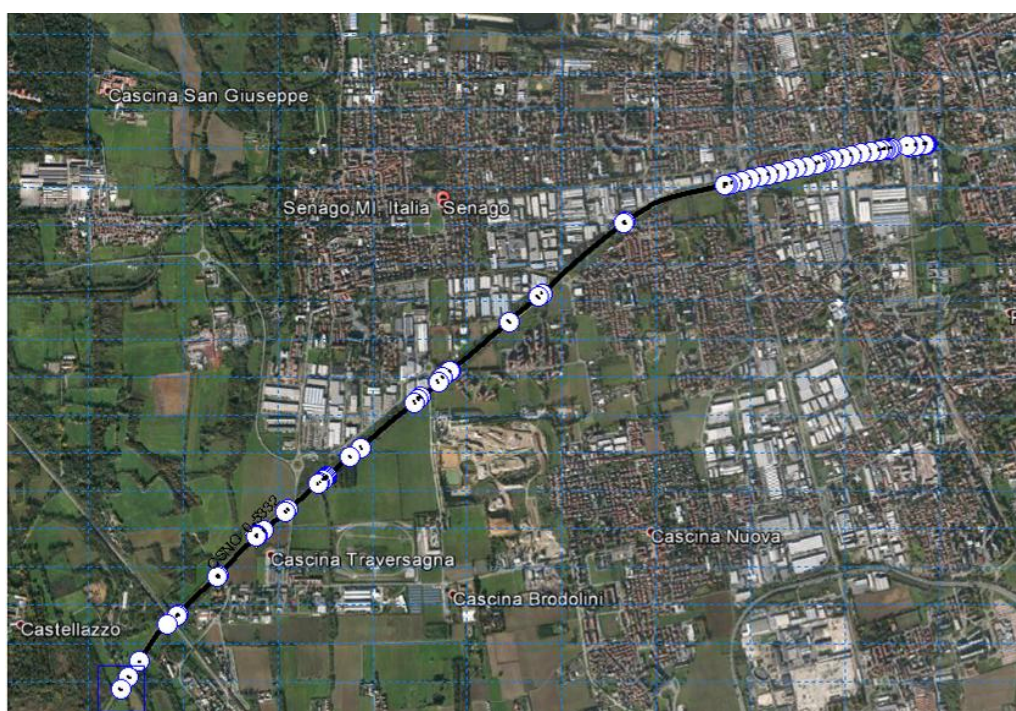


Figura 53 – Planimetria del modello idraulico del CSNO

La caratterizzazione dettagliata dell’alveo del tratto di CSNO in esame è stata resa possibile attraverso l’utilizzo di un numero sufficiente di sezioni, pari a circa 70, ottenute da Studi e attività di progettazione precedenti e opportunamente verificate con i dati disponibili.

Di seguito, si elencano i principali interventi di adeguamento del CSNO, di cui si è tenuto conto nell’implementazione del modello idraulico, previsti nel tratto in esame ed inseriti nel già citato progetto definitivo provinciale “*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di nord ovest nel tratto compreso tra Senago (Mi) e Settimo Milanese (Mi) – MI.E.781*” e nel presente progetto definitivo.

A.T.P.:		Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>
			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Interventi di adeguamento del CSNO previsti da attività di progettazione precedenti

- attraversamento T. Garbogera: si prevede di mantenere il manufatto esistente;
- attraversamento T. Nirone: si prevede il rifacimento del ponte canale con luce più ampia di quella esistente al fine di modificare la sezione del CSNO;
- attraversamento T. Guisa: si prevede un intervento analogo a quanto previsto per il T. Nirone;
- tratto compreso tra T. Nirone e attraversamento autostrada A8: risezionamento e rivestimento del canale per una lunghezza di 2,794 km al fine di ridurre i tiranti idrici in corrispondenza degli attraversamenti del T. Nirone e del T. Guisa;
- tratto compreso tra CN 138 e CN 132: innalzamento delle sponde per contenere i livelli idrici con opportuno franco di sicurezza;
- tratto a monte della sezione CN 147: abbassamento di 70 cm del fondo alveo e risezionamento del canale.

Opera di presa della Vasca di Senago

Come già visto nel par. 6.3 l'opera di presa sul CSNO 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 161,10 m s.m., avente un'unica luce di lunghezza pari a 20 m. In corrispondenza dello sfioratore, il CSNO è caratterizzato da una quota di fondo pari a circa 159,00 m s.m., per cui l'altezza della soglia di sfioro è pari a 2,1 m. Lungo il CSNO, dopo la soglia sfiorante è prevista una paratoia piana in acciaio inox di dimensioni 5,0 x 3,5 m, finalizzata a creare un restringimento di sezione per limitare la portata defluente verso valle e rendere più efficiente il processo di sfioro dall'opera di presa. Il dimensionamento dello sfioratore laterale è stato condotto in modo tale che, con riferimento ad una portata proveniente da monte pari a 60 m³/s, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a 35 m³/s. Il CSNO in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione trapezia in c.a. (scabrezza di Strickler pari a 70 m^{1/3}/s), con base pari a 2 m, inclinazione delle sponde pari a 1/1.7 (h/b) e pendenza di fondo pari all'1‰.

Per quanto riguarda il processo di sfioro, sono state determinate le seguenti grandezze:

- sezione del restringimento del CSNO a valle dello sfioratore (per consentire di incrementare il livello dell'acqua a valle dello sfioratore e di conseguenza anche l'energia

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

della corrente in modo da consentire la riduzione di portata prefissata): 5 x 1,15 m;

- altezza idrica a monte del restringimento (valle dello sfioratore): 3,25 m;
- altezza della soglia di sfioro rispetto al fondo del canale di gronda: 2,1 m;
- lunghezza della soglia sfiorante: 20,0 m;
- portata del canale a monte dello sfioratore: 60,0 m³/s;
- portata del canale a valle dello sfioratore: 25,0 m³/s
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore: 2,47 m.

A valle della paratoia di restringimento il CSNO presenta un salto di fondo di altezza pari a circa 2 m (quota di fondo a valle del salto pari a circa 157,0 m s.m.).

Per dissipare l'energia della corrente, alla base del salto è presente una vasca di dissipazione (di dimensioni pari a 13 m di lunghezza e 5 m di larghezza) che verrà integrata con dei denti in c.a. del tipo II-USBR (Figura 39). A valle della vasca di dissipazione il livello idrico presente nel CSNO, in corrente lenta, è pari a circa 2,3 m.

Condizioni al contorno

Per la definizione delle condizioni al contorno sono stati utilizzati i risultati del modello idrologico-idraulico realizzato nell'ambito del già citato progetto definitivo provinciale “*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di nord ovest nel tratto compreso tra Senago (Mi) e Settimo Milanese (Mi) – M.I.E. 781*”. In particolare, è stata utilizzata la quota idrica raggiunta in prossimità del T. Nirone durante il deflusso delle portate di riferimento Q₁ (43 m³/s) e Q₂ (55 m³/s), corrispondenti rispettivamente a 155,37 m s.m. e 155,68 m s.m.

Scabrezza

I coefficienti di scabrezza relativi all'alveo inciso sono stati attribuiti tenendo conto delle caratteristiche del canale e delle indicazioni fornite dagli studi precedenti.

Per ogni singola sezione sono stati utilizzati 2 valori del coefficiente di Strickler:

- 70 m^{1/3}s⁻¹ per l'alveo e le sponde in calcestruzzo del CSNO interessate dal flusso idrico;
- 50 m^{1/3}s⁻¹ per le parti più elevate delle sponde del CSNO.

7.4 VERIFICHE IDRAULICHE

Come anticipato sopra, le verifiche idrauliche sono state condotte per le seguenti

configurazioni di progetto:

- **Assetto Permanente** – Portata costante di 43 m³/s con franco di sicurezza pari a 1 m ovunque;
- **Assetto Temporaneo** – Portata costante di 55 m³/s con franco di sicurezza inferiore ad 1 m.

Utilizzando il modello idraulico prima richiamato sono state condotte simulazioni idrauliche utili a definire il profilo idrico lungo il tratto di CSNO esaminato per entrambi gli scenari di riferimento ed individuare i franchi di sicurezza disponibili.

In particolare, sono state condotte le seguenti attività:

- individuazione del profilo idrico per gli scenari di riferimento considerati;
- verifica del franco di sicurezza minimo di 1 m per lo scenario Permanente;
- verifica del franco di sicurezza per lo scenario Temporaneo;
- verifica del livello idrico raggiunto in prossimità dell'opera di presa della vasca di Senago per entrambi gli scenari di riferimento.

Il profilo idrico determinato per gli scenari di riferimento considerati ed i rispettivi franchi idraulici di sicurezza sono riportati di seguito:

Verifica Scenari di progetto (Permanente e Transitorio) – Portate 43 m³/s e 55 m³/s

Sezione	Progr.	Livelli		Battenti		Quota		Franco Sponde		Franco Ponti	
		Q=43	Q=55	Q=43	Q=55	Sponde	Intrad.	Q=43	Q=55	Q=43	Q=55
Nome	m	m sm	m sm	m	m	m sm	m sm	m	m	m	m
CN 151	2468	163,18	163,39	1,93	2,14	165,82		2,64	2,43		
CN 150	2875	162,07	162,34	1,86	2,13	165,82		3,75	3,48		
CN 149	2925	162,03	162,30	1,83	2,10	165,11	163,52	3,08	2,81	1,49	1,22
CN 149-1	2959	162,01	162,27	1,83	2,09	164,88		2,87	2,61		
CN 148	3080	161,92	162,17	1,84	2,09	164,29	163,14	2,37	2,12	1,22	0,97
CN 147	3097	161,87	162,11	2,29	2,53	164,40		2,53	2,29		
CN 146	3124	161,86	162,13	2,28	2,55	164,27		2,41	2,14		
CN 145	3497	161,37	161,68	2,10	2,42	163,86	162,63	2,49	2,18	1,26	0,95
CN 144-1	3567	161,27	161,60	2,14	2,47	163,82		2,55	2,22		
CN 144	3730	160,98	161,38	2,02	2,42	163,79		2,81	2,41		
Sfioro	3740	160,95	161,36	1,99	2,40	161,10		0,15	-0,26		
Paratoia	3748	160,93	161,28	1,99	2,34	162,58		1,65	1,30		
Salto	3754	160,91	161,27	1,97	2,33	162,58		1,67	1,31		
CN 143	3777	158,51	158,79	2,34	2,61	162,58	159,51	4,07	3,79	1,00	0,72

Sezione	Progr.	Livelli		Battenti		Quota		Franco Sponde		Franco Ponti	
		Q=43	Q=55	Q=43	Q=55	Sponde	Intrad.	Q=43	Q=55	Q=43	Q=55
Nome	m	m sm	m sm	m	m	m sm	m sm	m	m	m	m
CN 142	3793	158,51	158,82	2,33	2,63	162,08		3,57	3,26		
CN 141 m	4002	158,22	158,54	2,23	2,55	160,83	159,76	2,61	2,29	1,54	1,22
CN 141 v	4018	158,19	158,51	2,20	2,52	160,83	159,76	2,64	2,32	1,57	1,25
CN 140-1	4171	157,90	158,27	2,09	2,46	160,28		2,38	2,01		
CN 139 m	4209	157,86	158,21	2,07	2,43	160,45	159,67	2,59	2,24	1,81	1,46
CN 139 V	4215	157,14	157,4	2,02	2,25	160,45	159,67	3,31	3,09	2,53	2,31
30	4220	157,21	157,5	2,15	2,41	160,18		2,97	2,72		
CN 138 m	4506	156,85	157,1	2,11	2,38	159,97	158,66	3,12	2,87	1,81	1,56
CN 138 v	4512	156,84	157,1	2,10	2,37	159,97	158,66	3,13	2,88	1,82	1,57
32	4800	156,30	156,6	1,95	2,26	159,31		3,01	2,72		
CN 137	4810	156,28	156,5	1,91	2,19	158,96		2,68	2,43		
CN 136 m	4815	156,27	156,5	1,93	2,21	159,36	159,35	3,09	2,85	3,08	2,84
CN 136 v	4885	156,09	156,3	1,81	2,08	159,36	159,35	3,27	3,03	3,26	3,02
CN 133	5147	155,59	155,9	2,32	2,63	158,54	157,19	2,95	2,68	1,60	1,33
CN 133-1	5253	155,36	155,7	2,35	2,66	158,36		3,00	2,71		
CN 132	5332	155,37	155,7	2,46	2,77	157,97	156,01	2,60	2,29		

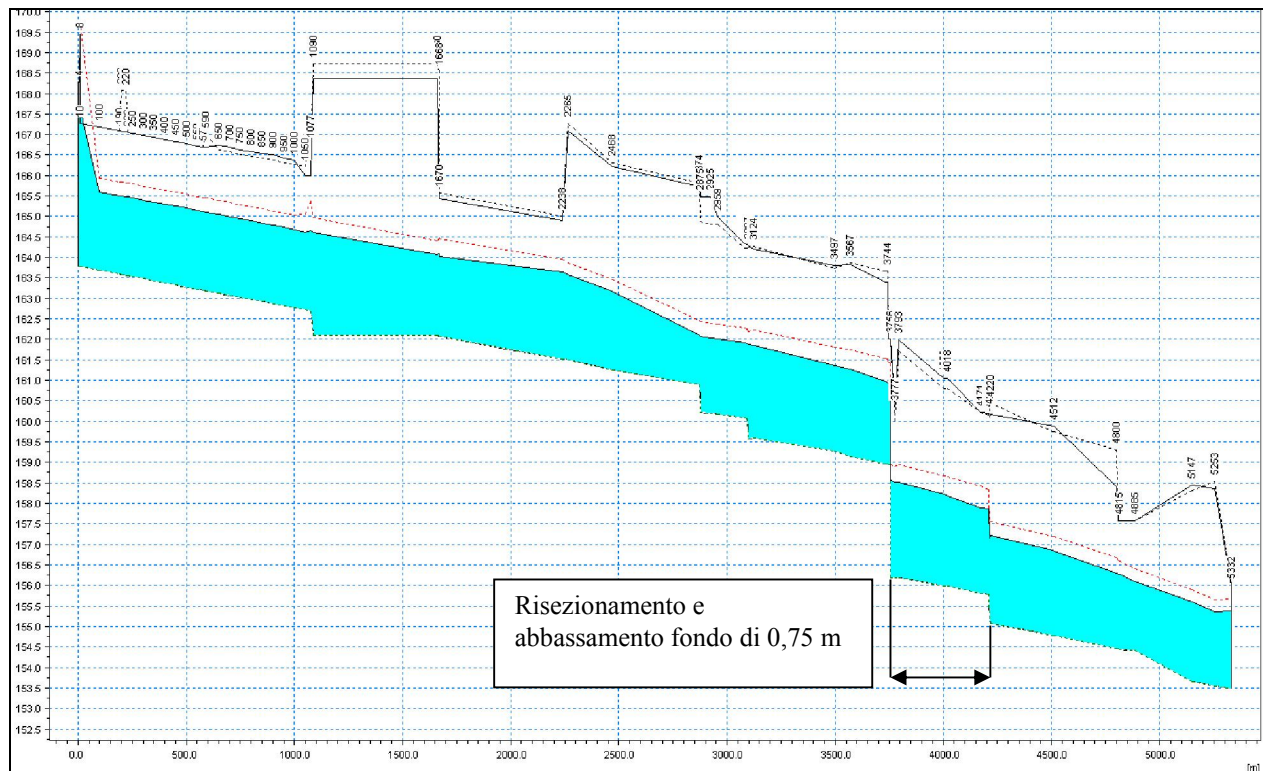


Figura 54 – Profilo idrico CSNO portata di 43 m³/s

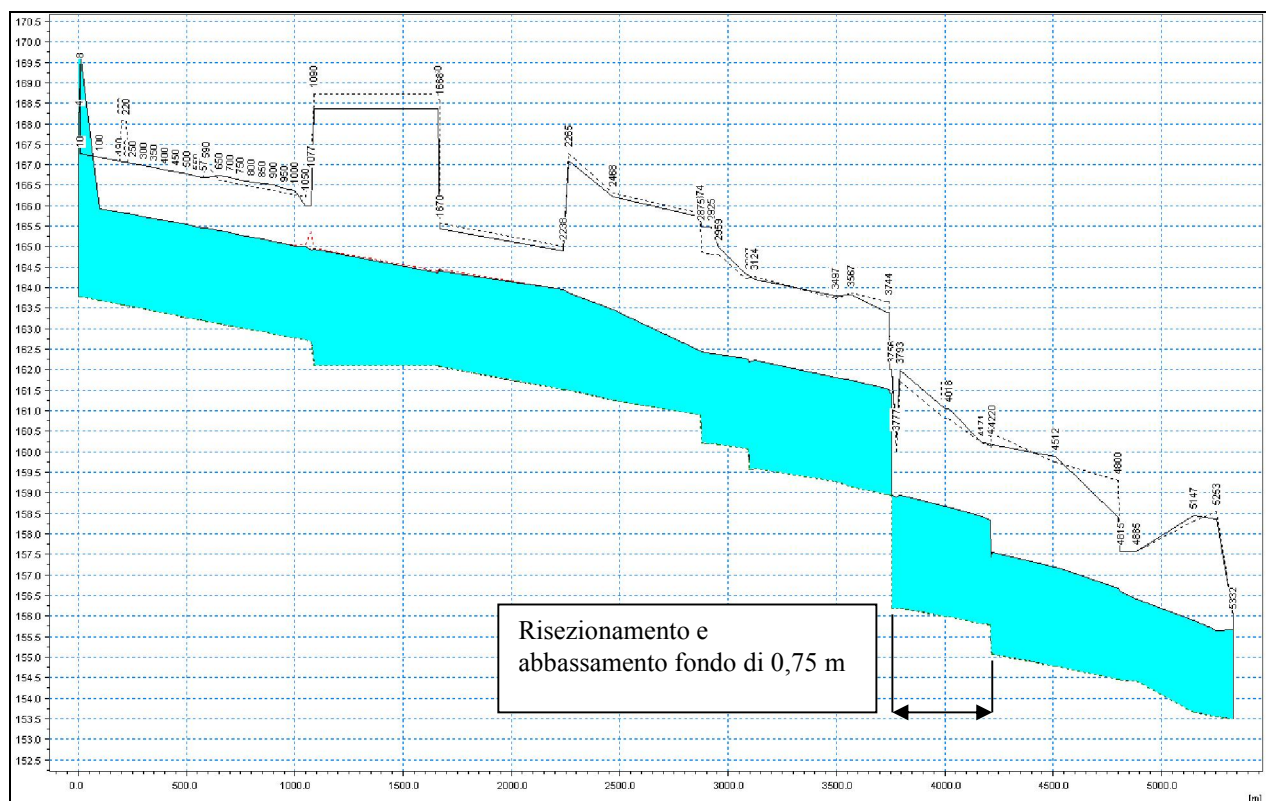


Figura 55 – Profilo idrico CSNO portata di 55 m³/s

In conclusione, le analisi effettuate sui profili idrici per le portate di 43 m³/s e 55 m³/s considerando le opere di adeguamento previste in questo progetto indicano che:

- il franco di sicurezza di 1 m è garantito ovunque rispetto alle sponde del canale per entrambi gli scenari analizzati;
- per lo scenario Permanente (45 m³/s) il franco idrico di sicurezza minimo di 1 m è garantito per tutti i ponti lungo il tratto esaminato;
- per lo scenario Temporaneo (55 m³/s) il franco idrico di sicurezza minimo di 1 m è garantito ovunque ad eccezione del ponte canale del Garbogera (0,72 m), del ponte poderale CN 145 (0,95 m) e del ponte comunale CN 148 (0,97 m);
- in prossimità dell'opera di presa della vasca di Senago al passaggio della portata di 43 m³/s (con paratoia lungo il CSNO a valle della soglia di presa completamente aperta) il livello idrico è inferiore alla quota dello sfioratore laterale, mentre al passaggio della portata di 55 m³/s il livello idrico supera la quota della soglia di sfioro di circa 0,26 m. In questo caso, onde evitare l'attivazione del processo di sfioro, quando la paratoia posta a

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

valle dell'opera di presa viene completamentealzata per consentire il passaggio di tutta la portata proveniente da monte, si prevede di installare lungo lo sfioratore delle paratoie mobili che consentano di innalzare il livello dello sfioro di almeno 0,30 m.

A.T.P.:		Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>
			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

8. RIDUZIONE INDOTTA DALLA VASCA DI SENAGO NELLA FREQUENZA E NELL'ENTITÀ DELLE ESONDAZIONI A MILANO

In approfondimento rispetto a quanto già presentato nello *Studio-AIPo-2011* e tenendo conto dell'importanza prioritaria della vasca di laminazione di Senago, gli scriventi professionisti hanno condotto ulteriori analisi volte a definire la frequenza dei processi di invaso di tale vasca, nonché gli effetti da essa prodotti in termini di riduzione dell'onda di piena verso Milano. In tali analisi si è ipotizzata la sola presenza dell'invaso di laminazione in progetto, quindi in assenza delle altre opere di laminazione previste nello *Studio-AIPo-2011*.

Le modellazioni qui esposte sono state effettuate sulla base sia di eventi reali che di eventi di riferimento progettuale per diversi tempi di ritorno.

Le simulazioni effettuate sugli eventi reali consentono di evitare le approssimazioni legate alle ricostruzioni modellistiche afflussi – deflussi, ma non consentono di attribuire un valore probabilistico all'evento volta per volta preso in considerazione. Tali simulazioni sono state impostate sia sulle registrazioni idrometriche disponibili avvenute nel corso degli stessi, sia sull'utilizzo del modello idrologico-idraulico del T. Seveso tarato con alcuni eventi reali.

Al contrario, le simulazioni impostate sulla ricostruzione modellistica di eventi di riferimento progettuale per diversi tempi di ritorno consente 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.

8.1 ANALISI EVENTI REALI

L'analisi degli eventi reali è stata effettuata considerando quelli verificatisi negli ultimi anni (dal 2010 al 2014), di cui si dispone dei dati, 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;

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

- 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 quindi di un campione di 20 eventi (in realtà si hanno dati su 19 eventi) abbastanza 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 ogni evento si è ricostruito l'andamento delle portate del T. Seveso in prossimità della presa del CSNO; tale operazione è stata effettuata con due approcci differenti:
 1. per gli eventi verificatisi nel periodo tra settembre e dicembre 2010 e per l'evento del 15 novembre 2014, che hanno indotto esondazione a Milano, si è utilizzato 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 Villageno, Vertemate con Minoprio, Cantù Asnago, Mariano Comense e Palazzolo) sia delle altezze idrometriche in corrispondenza di n. 3 idrometri (Cantù Asnago, Cesano Maderno e Palazzolo);
 2. per gli altri eventi sono stati considerati i livelli idrometrici registrati presso l'idrometro di Cesano Maderno (T. Seveso), e si è proceduto nel modo seguente:
 - dal modello idrologico-idraulico implementato nell'ambito dello *Studio-AIPo-2011* si è ricavata la scala delle portate in corrispondenza della sezione dove è ubicato l'idrometro di Cesano Maderno (v. Figura 56);

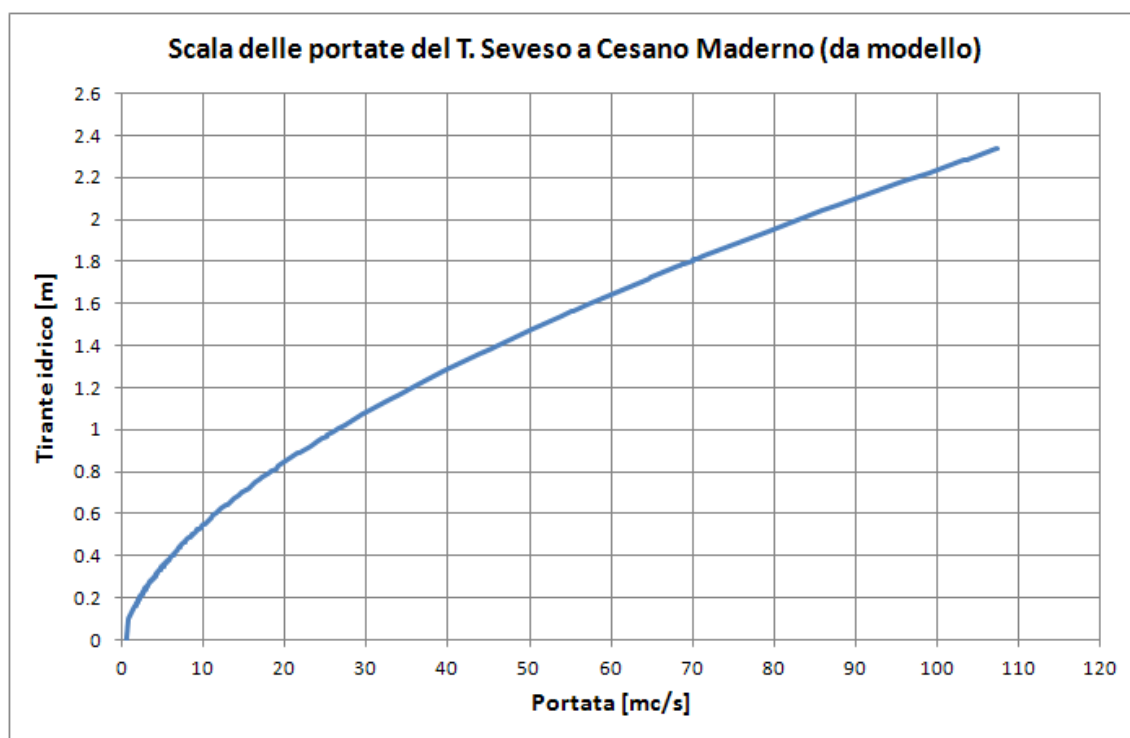


Figura 56 – Scala delle portate del T. Seveso a Cesano Maderno ricavata del modello idraulico dello Studio-AIPo-2011

- attraverso le letture idrometriche e la suddetta scala delle portate si sono ricavati gli idrogrammi di portata defluenti in corrispondenza dell'idrometro di Cesano Maderno;
 - considerando le superfici dei bacini sottesi dall'idrometro di Cesano Maderno (circa 170 km²) e dalla sezione di presa del CSNO (circa 190 km²) e applicando la similitudine idrologica, si sono ricavati gli idrogrammi di portata del T. Seveso a Palazzolo (presa CSNO).
- gli idrogrammi così ottenuti per i diversi eventi sono stati confrontati con l'attuale portata derivabile nel CSNO (30 m³/s) e con quella di progetto (60 m³/s);
- si è valutata l'entità, in termini di volume, della porzione di idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s, che corrisponde alla porzione dell'evento che può essere recapitata nella vasca di laminazione di Senago. Si sottolinea che in realtà 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.78I”* di AIPo e della Provincia di Milano ha come obiettivo quello di garantire nel CSNO, appena a valle dello sfioro di alimentazione

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

della vasca di laminazione di Senago, una portata massima di 25 m³/s, per garantire ovunque franchi di sicurezza pari ad almeno 1 m, ma in realtà attualmente la capacità idraulica del CSNO a monte dello sfioro del T. Garbogera è pari a 30 m³/s (seppur con alcuni franchi di sicurezza ridotti), per cui in questa fase, in assenza degli altri interventi di laminazione previsti lungo l'asta del Seveso, si è considerato pari a 30 m³/s il valore di portata che può proseguire a valle dell'opera di presa della vasca di laminazione di Senago;

- si è determinata la portata che prosegue a valle della paratoia di Palazzolo, verso Milano, sottraendo all'idrogramma ricavato a Palazzolo la portata che può essere immessa nel CSNO ($Q \leq 30 \text{ m}^3/\text{s}$ e $30 \text{ m}^3/\text{s} < Q \leq 60 \text{ m}^3/\text{s}$ fino al raggiungimento del volume massimo d'invaso 810'000 m³ previsto per la vasca di Senago);
- dai dati così ottenuti si è potuto valutare, per ciascun evento, l'entità del volume che si sarebbe potuto laminare nella vasca di laminazione di Senago e il conseguente beneficio verso Milano.

Nei successivi grafici, relativi agli eventi che hanno provocato esondazioni a Milano, oltre all'idrogramma del Seveso a Palazzolo, sono riportati i livelli registrati nel CSNO e a Milano – Niguarda, i quali sono stati utilizzati per verificare la presenza di situazioni di criticità. In particolare, quando il livello idrometrico nel CSNO assume valori maggiori di 2 m significa che la portata che è stata deviata dal Seveso nel CSNO è prossima a 30 m³/s, mentre quando il livello idrometrico nel Seveso a Niguarda assume valori prossimi a 2,5÷3,0 m significa che sono presenti situazioni di criticità (per $h = 3 \text{ m}$ si ha esondazione a Niguarda) e pertanto la portata del T. Seveso a Milano è prossima, o superiore, a 40 m³/s (attuale capacità del tratto tombinato del T. Seveso).

8.1.1 Analisi evento 3 maggio 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), le soglie della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (30 m³/s allo stato attuale e 60 m³/s nell'assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

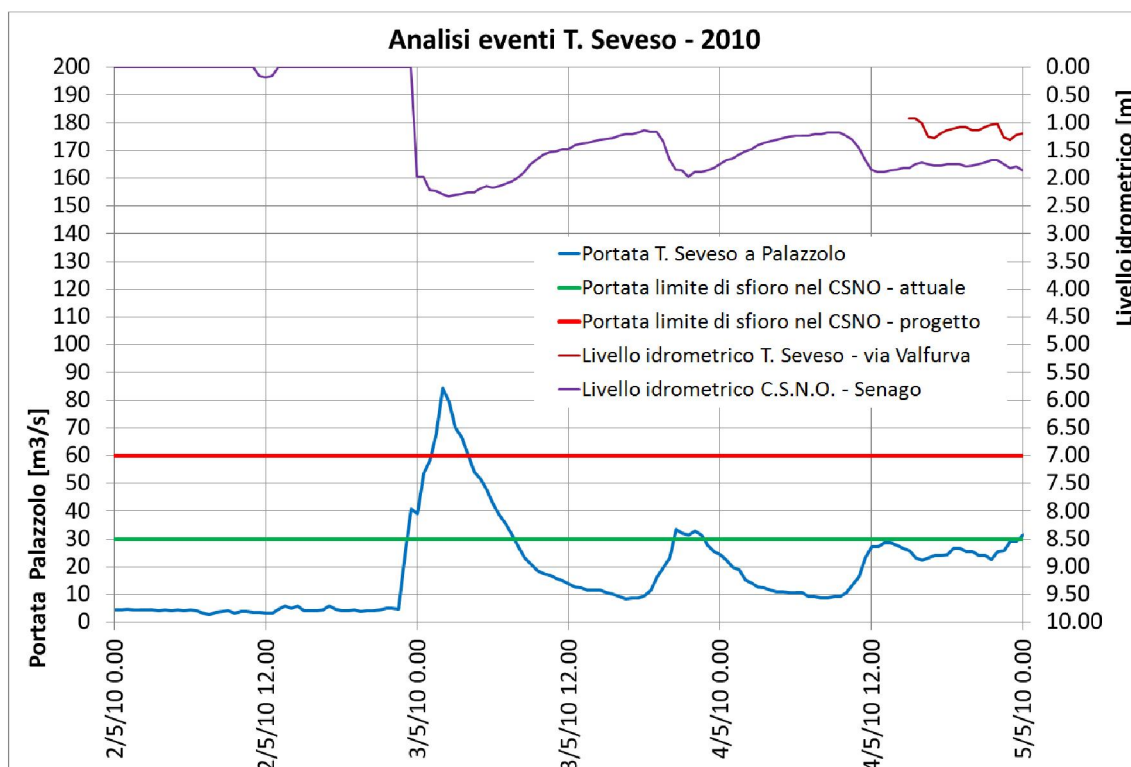


Figura 57 – Analisi evento 3 maggio 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 55 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico² del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 2 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 600'000 m³ (minore del volume della vasca di laminazione di Senago). Pertanto, se la vasca di laminazione di Senago fosse stata già in esercizio, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 25 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure questa sarebbe stata notevolmente attenuata.

² La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 56 mm con intensità massima di 18 mm/ora

8.1.2 Analisi evento 14 maggio 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

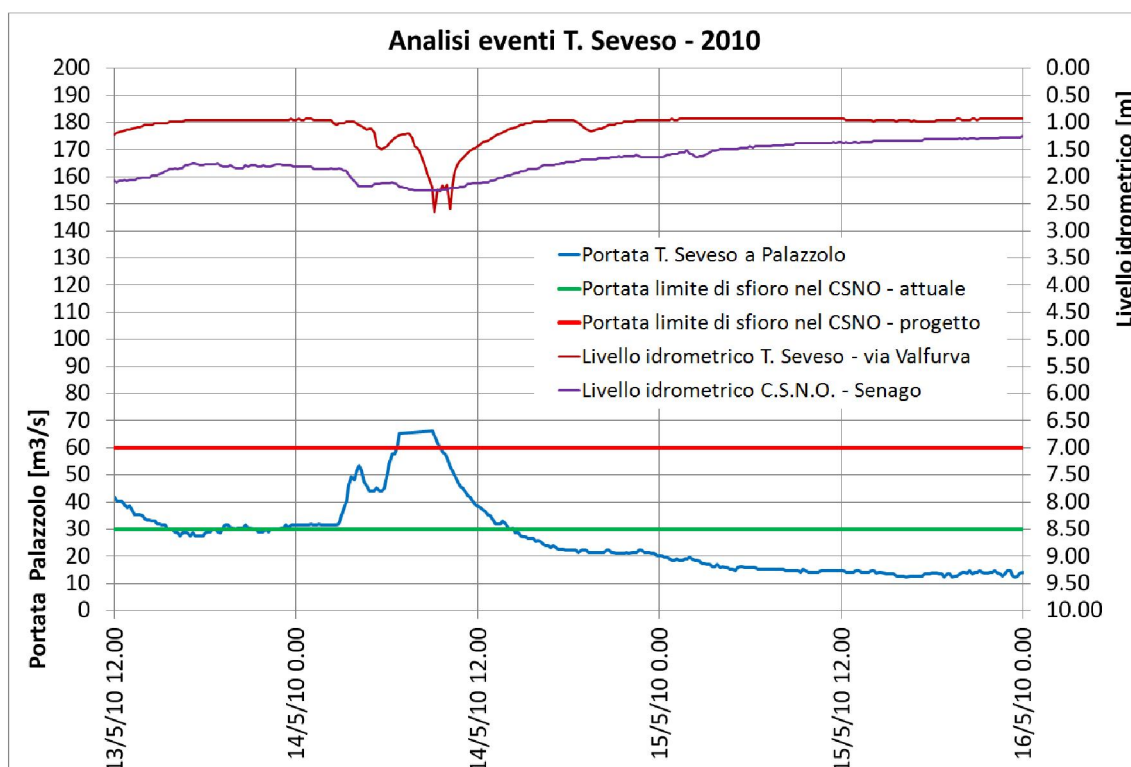


Figura 58 – Analisi evento 14 maggio 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 35 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico³ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 500'000 m³ (minore del volume della vasca di laminazione di Senago). Pertanto, se la vasca di laminazione di Senago fosse stata già

³ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 11 mm con intensità massima di 8 mm/ora

in esercizio, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 5 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano.

In realtà, tale evento meteorico non era isolato, ma, come mostrato nella figura seguente, esso era il terzo in altrettanti giorni. Il volume degli altri eventi, che avrebbero interessato la vasca di laminazione di Senago, sono stati rispettivamente pari a 330'000 m³ e 770'000 m³. Pertanto è possibile che per l'ultimo evento, quello del 14 maggio, che ha indotto esondazioni in Comune di Milano, la vasca di Senago potesse essere ancora piena, e pertanto non si sarebbe potuta evitare l'esondazione.

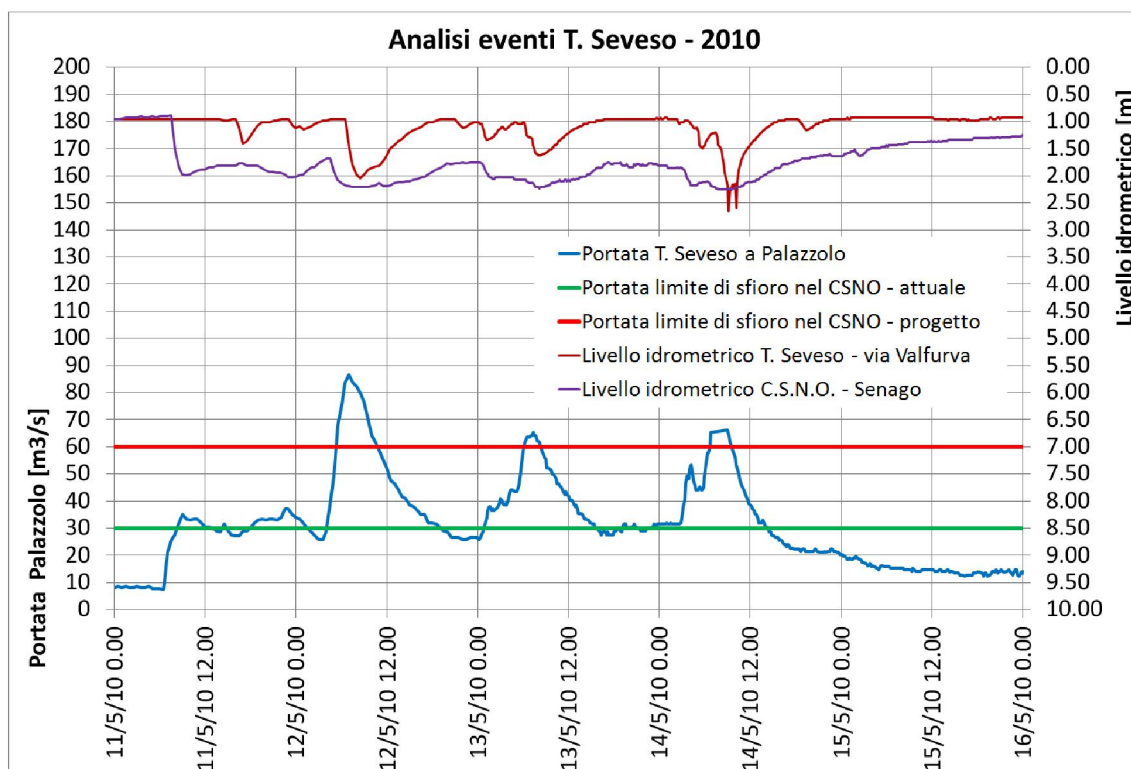


Figura 59 – Analisi eventi 12-14 maggio 2010

8.1.3 Analisi evento 5 agosto 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata

limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

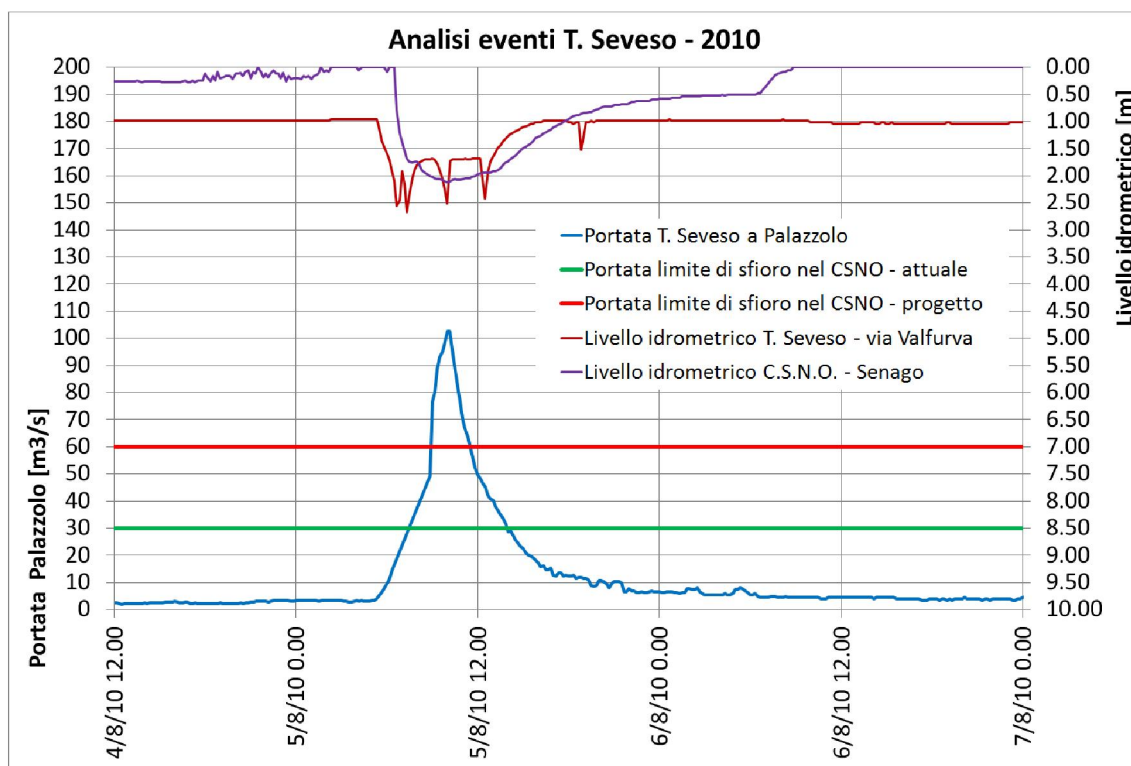


Figura 60 – Analisi evento 5 agosto 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 70 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁴ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 3,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 400'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 40 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto attenuare significativamente l'entità dell'esondazione a Milano.

⁴ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 65 mm con intensità massima di 18 mm/ora

8.1.4 Analisi evento 12 agosto 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

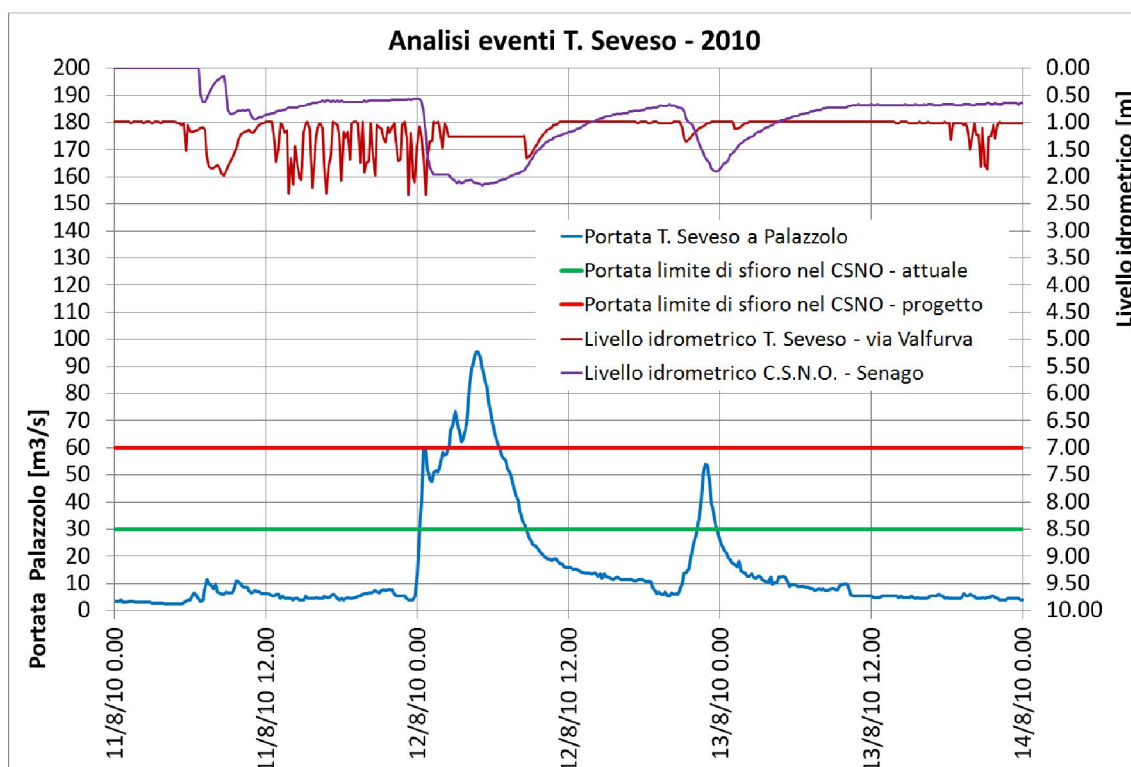


Figura 61 – Analisi evento 12 agosto 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 65 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁵ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 740'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la

⁵ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 20 mm con intensità massima di 12 mm/ora

portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 35 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure sarebbe stata notevolmente attenuata. Tale evento si è verificato una settimana dopo il precedente evento del 5 agosto, pertanto è ragionevole ipotizzare che l'invaso di Senago sarebbe già stato svuotato (totalmente o quasi) e quindi avrebbe potuto ricevere un nuovo scolmo delle piene del Seveso.

8.1.5 Analisi evento 18 settembre 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO) mediante il modello idrologico-idraulico, la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

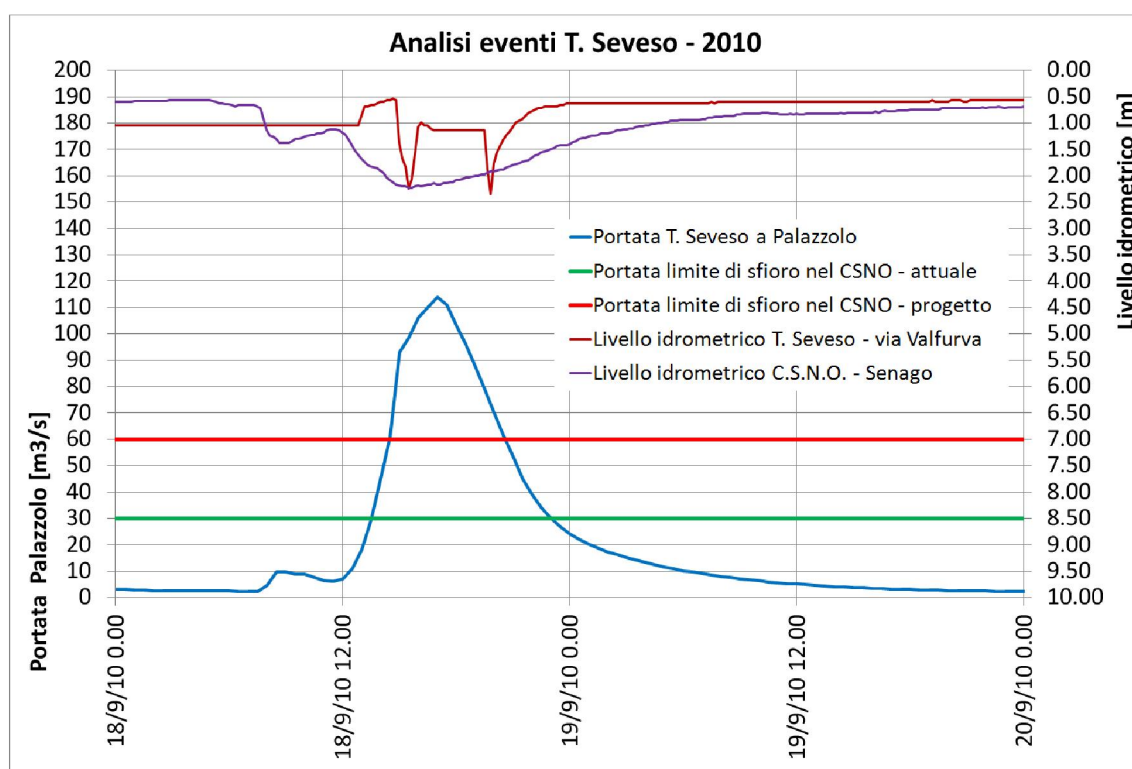


Figura 62 – Analisi evento 18 settembre 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

85 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁶ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 4 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 820'000 m³ (praticamente pari al volume della vasca di Senago che è di 810'000 m³). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 55 m³/s.

In questo caso, anche in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe verificata l'esondazione a Milano, ma l'entità degli allagamenti sarebbe stata inferiore.

8.1.6 Analisi evento 1 novembre 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO) mediante il modello idrologico-idraulico, la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

⁶ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 18 mm con intensità massima di 8 mm/ora

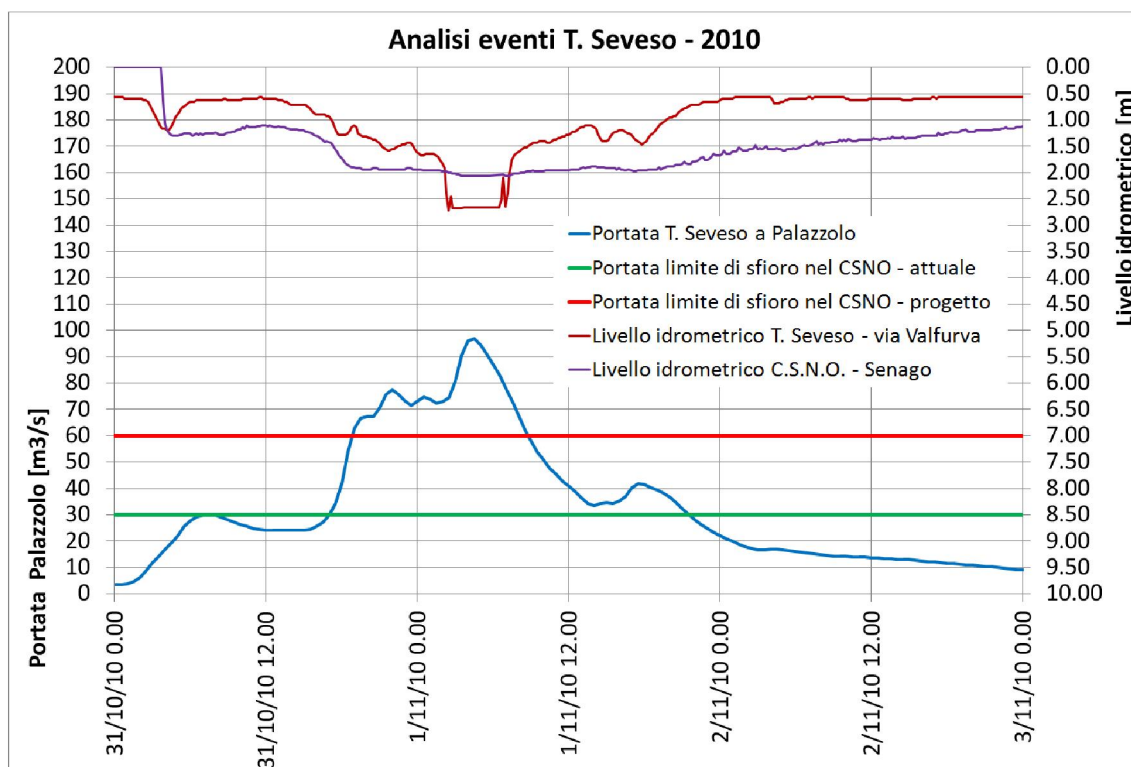


Figura 63 – Analisi evento 1 novembre 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 70 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁷ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 4,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 2'000'000 m³ (maggiore del volume della vasca di Senago). Il volume di 810'000 m³ si sarebbe raggiunto prima del picco, per cui anche in presenza della vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa si sarebbe mantenuta attorno a valori pari a circa 70 m³/s.

In questo caso, quindi, anche in presenza della vasca di laminazione di Senago, non si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, ma l'entità degli allagamenti sarebbe stata inferiore.

⁷ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 22 mm con intensità massima di 8 mm/ora

8.1.7 Analisi evento 16 novembre 2010

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO) mediante il modello idrologico-idraulico, la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

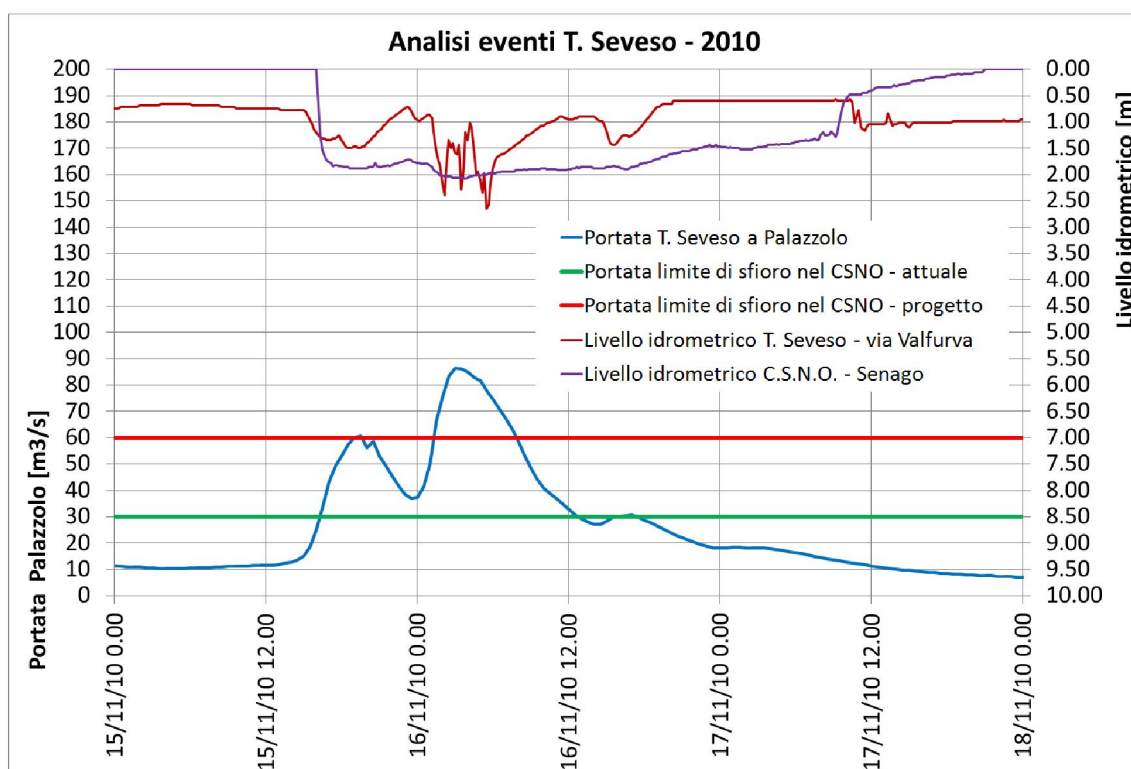


Figura 64 – Analisi evento 16 novembre 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 55 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁸ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 3,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 1'500'000 m³ (maggiore

⁸ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 120 mm con intensità massima di 10 mm/ora

del volume della vasca di Senago). Il volume di 810'000 m³ si sarebbe raggiunto in corrispondenza del picco, per cui in presenza della vasca di laminazione di Senago la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ancora dell'ordine di circa 55 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, non si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano e comunque l'entità degli allagamenti sarebbe stata ridotta notevolmente.

8.1.8 Analisi evento 27 maggio 2011

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

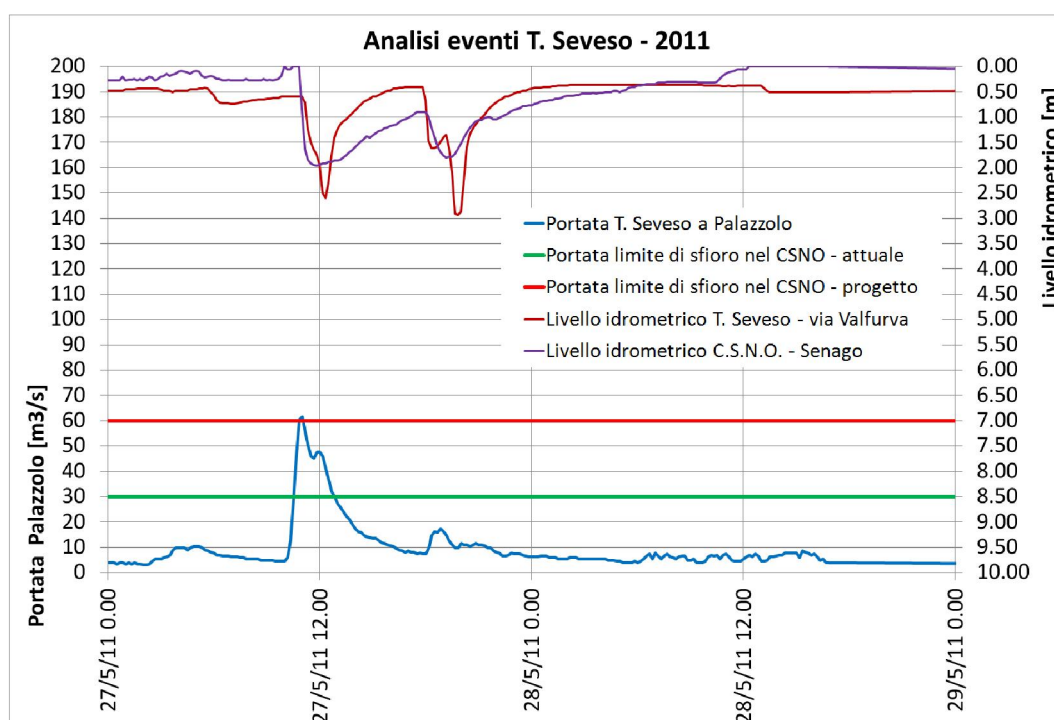


Figura 65 – Analisi evento 27 maggio 2011

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

30 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico⁹ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 135'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata annullata.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure l'entità degli allagamenti sarebbe stata ridotta notevolmente qualora l'esondazione fosse avvenuta solo per il contributo delle reti di drenaggio urbano dei comuni posti tra Palazzolo e Milano (evento pari a circa 2 anni di tempo di ritorno).

8.1.9 Analisi evento 6 agosto 2011

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

⁹ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 45 mm con intensità massima di 30 mm/ora

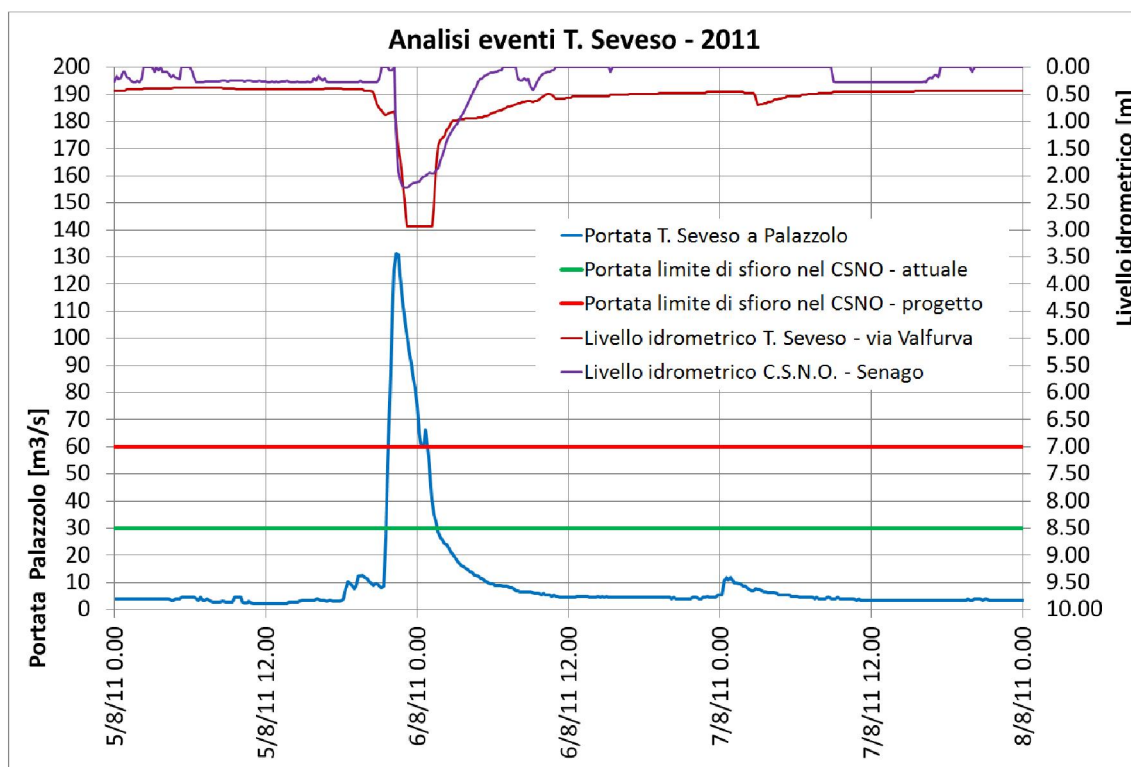


Figura 66 – Analisi evento 6 agosto 2011

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 100 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁰ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 2,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 380'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 70 m³/s.

In questo caso, quindi, anche in presenza della vasca di laminazione di Senago, non si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, ma l'entità degli allagamenti sarebbe stata inferiore.

8.1.10 Analisi evento 12 settembre 2012

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza

¹⁰ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 18 mm con intensità massima di 15 mm/ora

della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

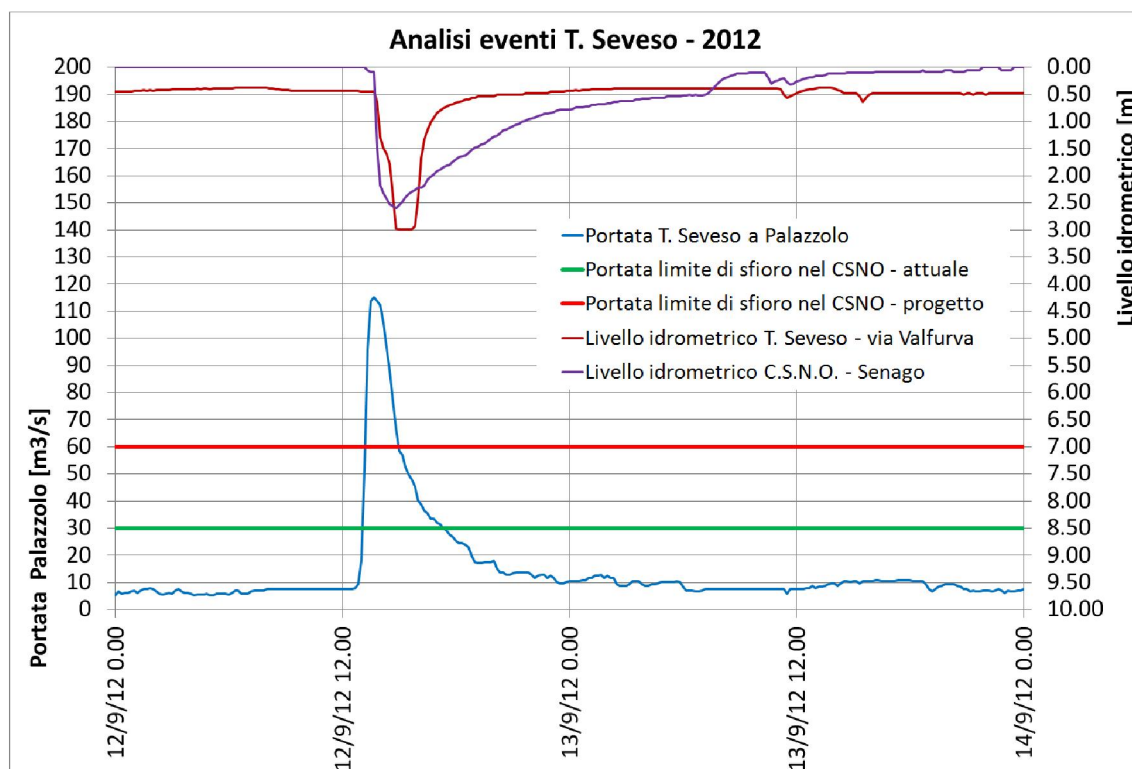


Figura 67 – Analisi evento 12 settembre 2012

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 85 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹¹ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 1,3 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 300'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 55 m³/s.

In questo caso, quindi, anche in presenza della vasca di laminazione di Senago, non si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, ma l'entità degli allagamenti sarebbe stata inferiore.

¹¹ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 31 mm con intensità massima di 30 mm/ora

8.1.11 Analisi evento 23 ottobre 2013

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

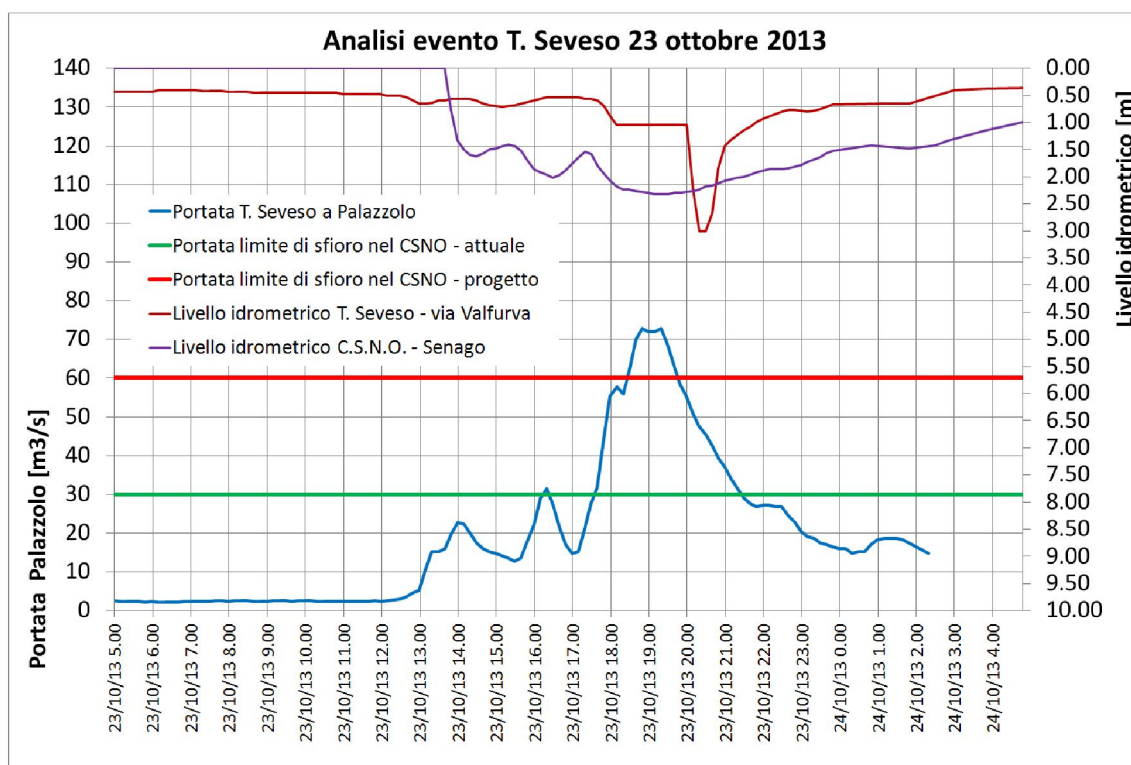


Figura 68 – Analisi evento 23 ottobre 2013

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 40 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹² del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. Secondo i dati forniti dal comune, la durata dell'esondazione è stata pari a circa 0,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 290'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la

¹² La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 46 mm con intensità massima di 23 mm/ora

portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata ridotta a circa 10 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano.

8.1.12 Analisi evento 25 giugno 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

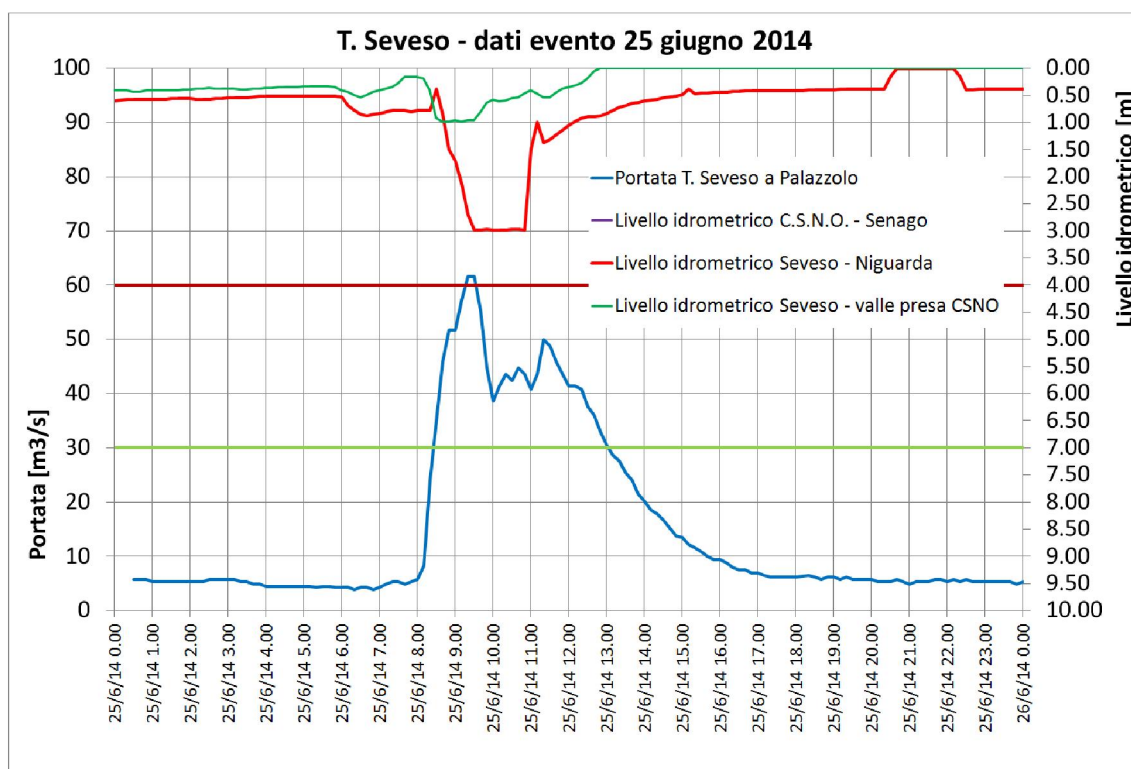


Figura 69 – Analisi evento 25 giugno 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 30 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹³ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24

¹³ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 50 mm con intensità massima di 26 mm/ora

contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata pari a circa 1,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 250'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata praticamente annullata.

In questo caso quindi è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano.

8.1.13 Analisi evento 8 luglio 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

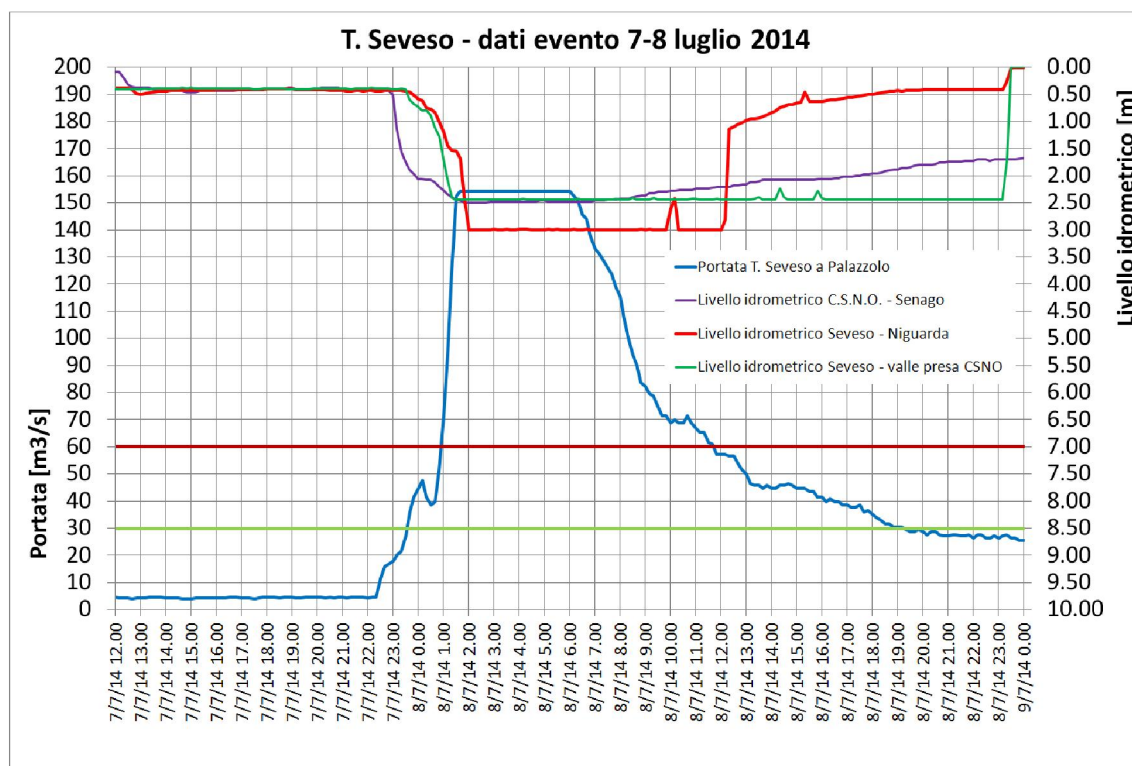


Figura 70 – Analisi evento 8 luglio 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo superiore a 120 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁴ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto pesanti fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata pari a circa 10 ore. L'evento, sia in termini di portata al colmo che di volume (il volume di piena della porzione di idrogramma superiore a 30 m³/s è stata pari a 4 Mm³), è stato caratterizzato da un tempo di ritorno prossimo a 100 anni.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 1'600'000 m³ (superiore al volume della vasca di Senago).

Il volume di 810'000 m³ si sarebbe raggiunto dopo il picco (ore 8:00 dell'8/7), per cui in presenza della vasca di laminazione di Senago la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata pari a circa 90 m³/s. Pertanto, anche se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, l'esondazione si sarebbe verificata comunque. In questo evento, per poter evitare l'esondazione a Milano, sarebbero state necessarie tutte le quattro aree di laminazione previste nello *Studio-AIPo-2011*.

8.1.14 Analisi evento 26 luglio 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

¹⁴ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 46 mm con intensità massima di 28 mm/ora

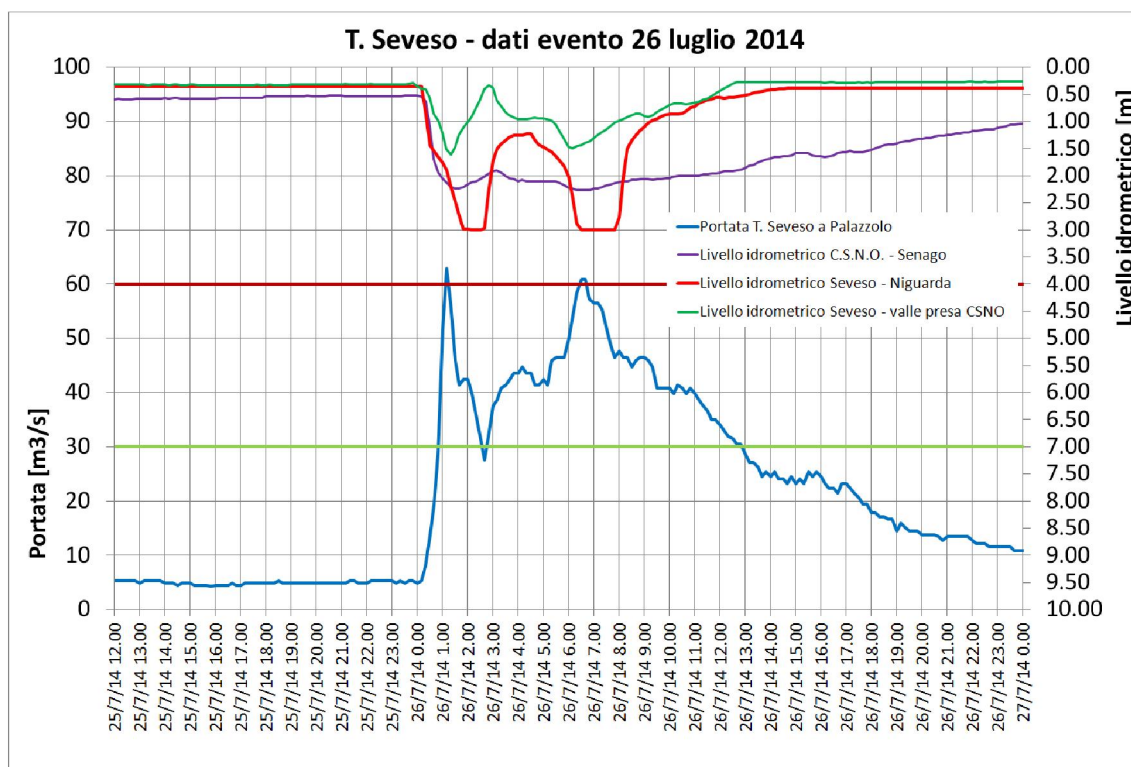


Figura 71 – Analisi evento 26 luglio 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 30 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁵ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata complessivamente pari a circa 2,5 ore.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 585'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata praticamente annullata.

In questo caso quindi è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure l'entità degli allagamenti sarebbe stata ridotta notevolmente qualora l'esondazione fosse avvenuta solo per il contributo delle reti di drenaggio urbano dei comuni posti tra Palazzolo e Milano.

¹⁵ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 102 mm con intensità massima di 48 mm/ora

8.1.15 Analisi evento 29 luglio 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

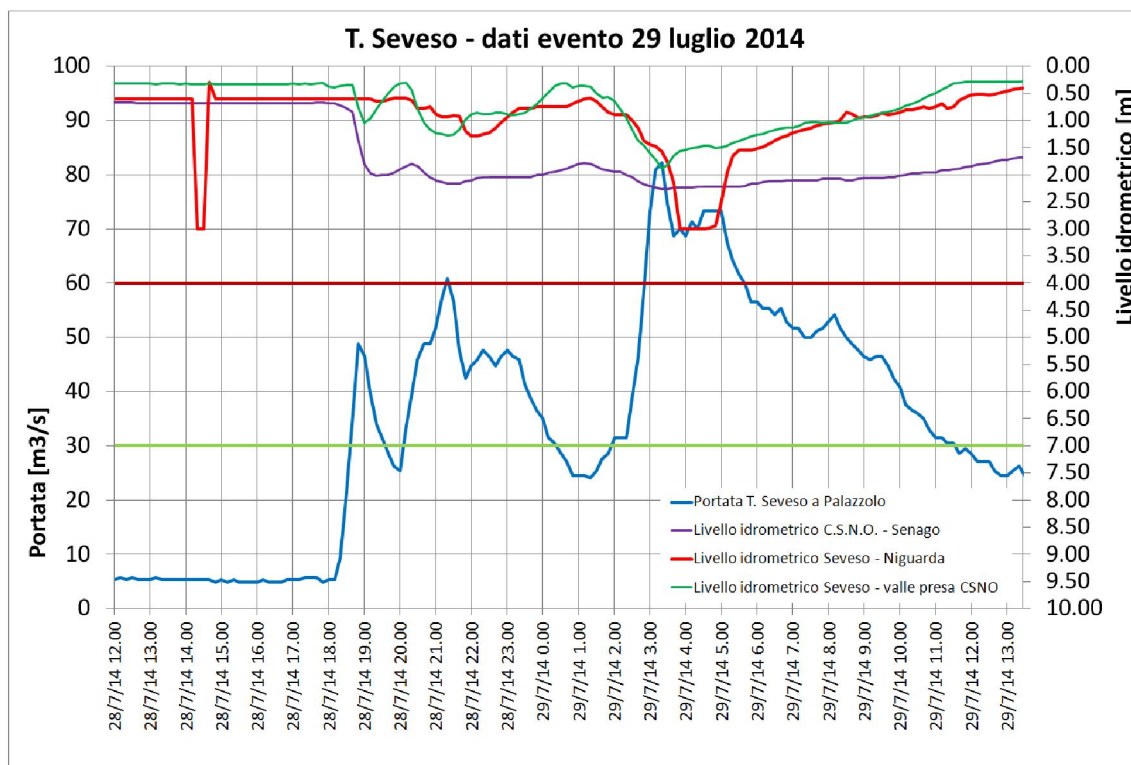


Figura 72 – Analisi evento 29 luglio 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 50 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁶ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata complessivamente pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s (considerando anche l'onda di piena del 28 luglio) è pari a circa 940'000 m³ (superiore al volume della vasca di Senago). Il volume di

¹⁶ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 15 mm con intensità massima di 8 mm/ora

810'000 m³ si sarebbe raggiunto a valle del picco verso le ore 8.00 del 29/07, per cui in presenza della vasca di laminazione di Senago la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata prossima a 20 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano.

8.1.16 Analisi evento 3 agosto 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

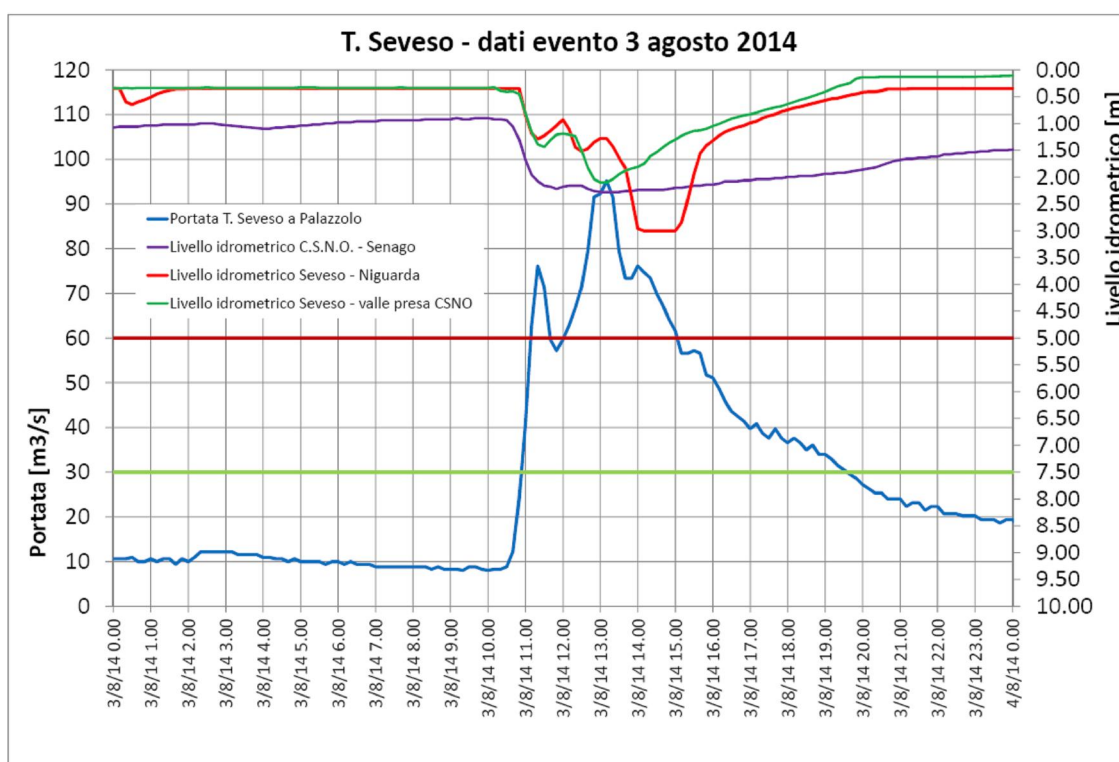


Figura 73 – Analisi evento 3 agosto 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa

60 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁷ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata complessivamente pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 630'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata prossima a 30 m³/s.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano.

8.1.17 Analisi evento 20 agosto 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

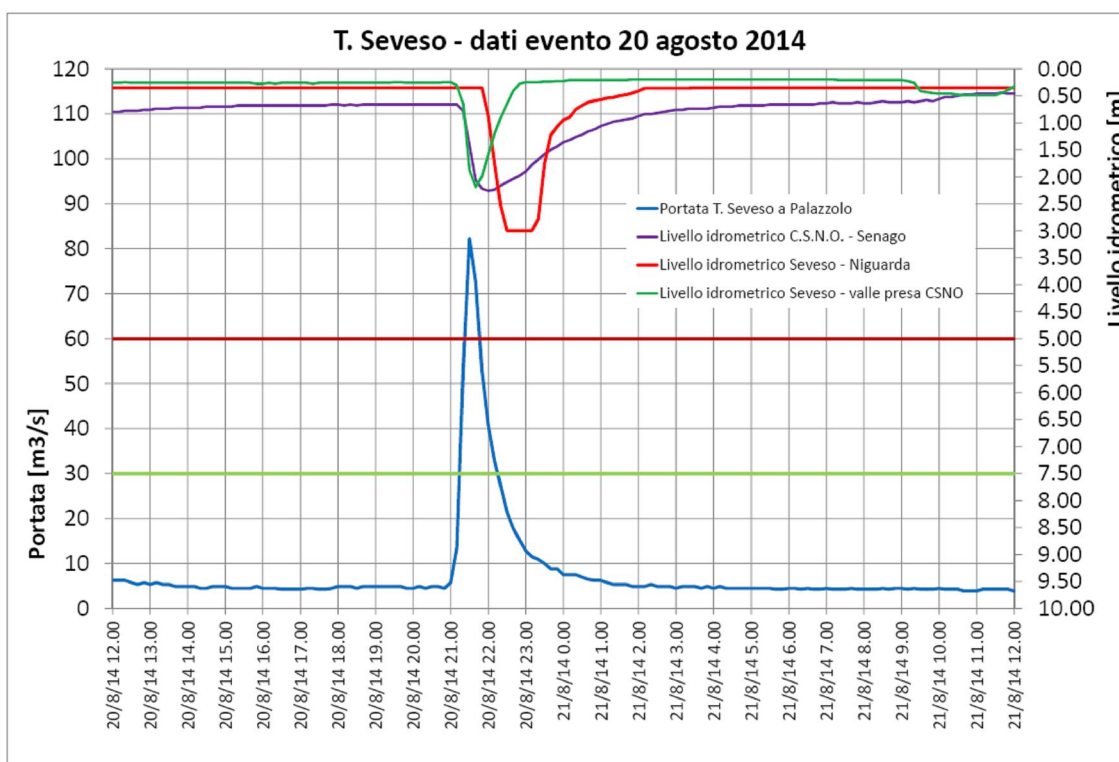


Figura 74 – Analisi evento 20 agosto 2014

¹⁷ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 2 mm

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa 50 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico¹⁸ del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata complessivamente pari a circa 1 ora.

Il volume dell'idrogramma compreso tra 30 e 60 m³/s è pari a circa 72'000 m³ (minore del volume della vasca di Senago). Pertanto, se ci fosse stata la vasca di laminazione di Senago, la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa sarebbe stata prossima a 20 m³/s.

In questo caso quindi è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure l'entità degli allagamenti sarebbe stata ridotta notevolmente qualora l'esondazione fosse avvenuta solo per il contributo delle reti di drenaggio urbano dei comuni posti tra Palazzolo e Milano.

8.1.18 Analisi evento 12 novembre 2014

Nella figura seguente sono riportati: l'idrogramma delle portate calcolato in corrispondenza della sezione di Palazzolo del T. Seveso (opera di presa del CSNO), la soglia della portata limite di derivazione dal Seveso nel CSNO (stato attuale e assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso a valle della presa del CSNO e nel tratto tombinato di via Valfurva.

¹⁸ La precipitazione registrata al pluviometro Parco Nord è pari a 38 mm con intensità massima di 38 mm/ora

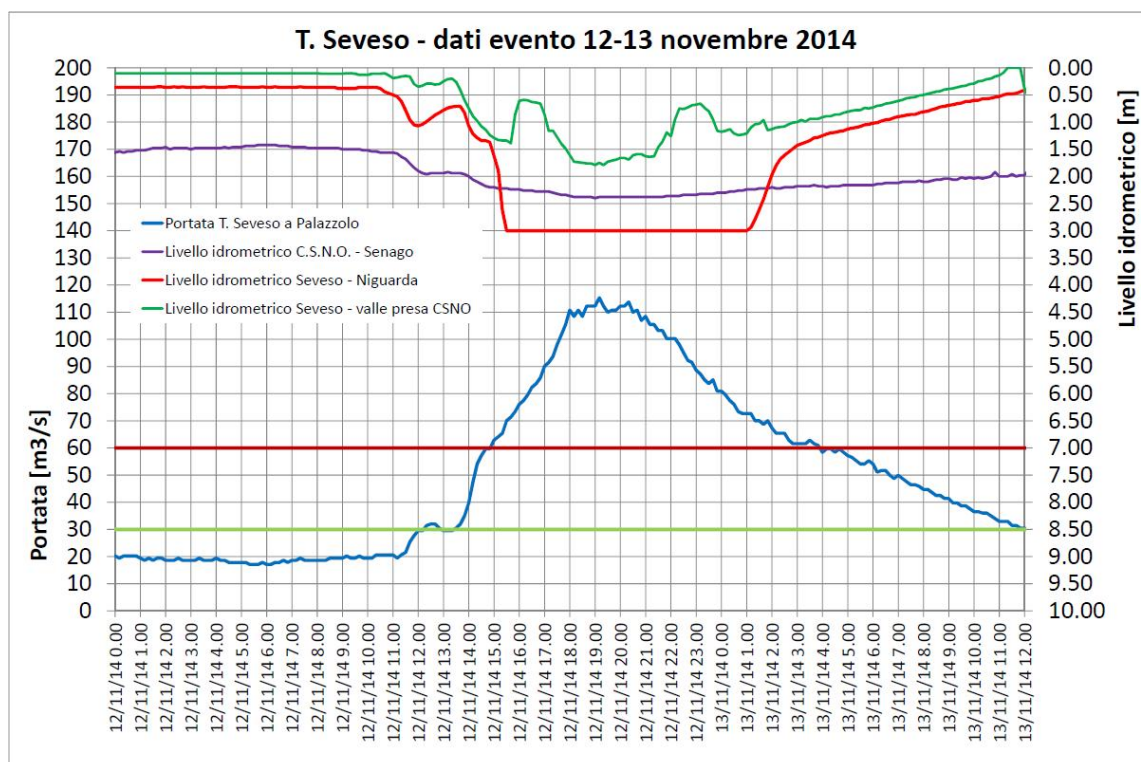


Figura 75 – Analisi evento 12-13 novembre 2014

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di 30 m³/s, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo prossimo a 80 m³/s. Tale valore, oltre all'apporto meteorico del bacino residuo (44 km² totali, di cui 24 contribuenti), ha indotto pesanti fenomeni di esondazione in Comune di Milano. La durata dell'esondazione è stata pari a circa 9.5 ore.

Il volume dell'onda di piena a Palazzolo, superiore a 30 mc/s, è stato dell'ordine di 3.2 Mmc, per cui per azzerare la portata del Seveso a valle della presa del CSNO sarebbero state necessarie almeno 3 aree di laminazione previste nello *Studio-AIPo-2011* (di cui una Varedo da 1.5 Mmc).

8.1.19 Analisi evento 15-16 novembre 2014

Nella figura seguente sono riportati gli idrogrammi ricavati dal modello idrologico-idraulico del T. Seveso implementato con le piogge registrate durante l'evento, in particolare:

- la portata a monte dell'opera di presa di Palazzolo durante l'evento reale – linea nera;
- la portata a monte dell'opera di presa di Palazzolo considerando l'effetto di tutte le aree di

A.T.P.:		Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>
			<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

laminazione a monte di Palazzolo previste nello *Studio-AIPo-2011* – linea magenta;

- la portata in ingresso nell'area di laminazione di Senago – linea verde (volume pari a 810'000 mc);
- la portata defluente nel CSNO a valle dell'area di laminazione di Senago – linea rossa;
- la portata che prosegue verso Milano per tracimazione dell'opera di presa di Palazzolo: tale portata è stata ottenuta sottraendo all'idrogramma di progetto la parte di deflusso nel CSNO e in ingresso all'area di laminazione di Senago – linea arancione (magenta – rossa – verde);
- la portata derivante dall'apporto del bacino idrografico posto tra Palazzolo e Milano – linea grigia (nella parte iniziale è posta al di sotto di quella azzurra/blu);
- la portata a monte dell'ingresso del tratto tombinato a Milano, ottenuto come somma della portata che prosegue verso Milano per tracimazione dell'opera di presa di Palazzolo e la portata derivante dall'apporto del bacino idrografico posto tra Palazzolo e Milano – linea azzurra (arancione + grigia);
- la portata che può defluire all'interno del tratto tombinato del T. Seveso in Milano – linea blu (linea azzurra limitata a 40 m³/s).

La parte di idrogramma compresa tra la linea azzurra e linea blu rappresenta il volume che supera la capacità di deflusso del tratto tombinato del T. Seveso, che esonda a Niguarda o che deve essere inviata in un'area di laminazione posta nel tratto di Seveso compreso tra la presa di Palazzolo e il tratto tombinato a Milano.

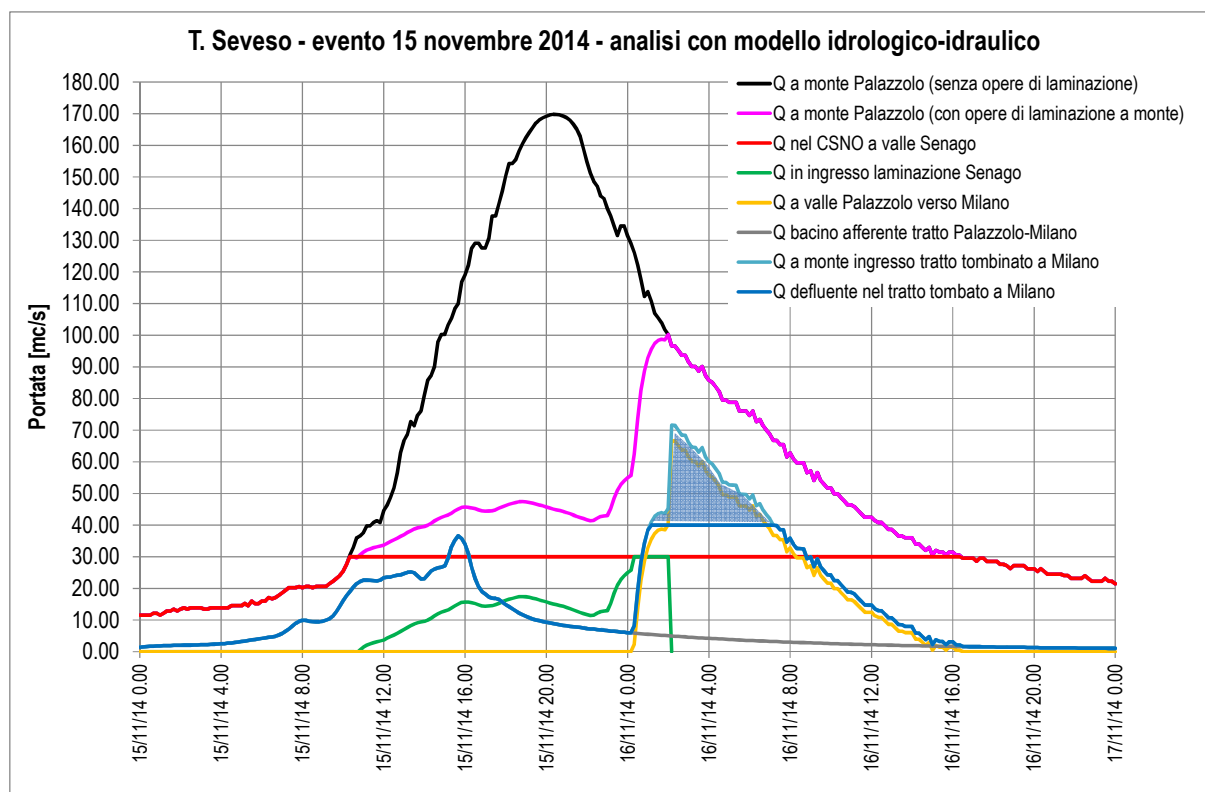


Figura 76 – Analisi evento 15-16 novembre 2014

Dall'analisi dell'evento si osserva che:

- l'idrogramma di piena effettivo a Palazzolo nella situazione attuale ha caratteristiche superiori a quelle dell'evento di riferimento $T = 100$ anni, sia come portata al colmo (170 m^3/s) che come volume dell'onda (il volume dell'onda di piena a Palazzolo, superiore a 30 m^3/s , è stato dell'ordine di 6.3 Mm^3);
- considerando l'assetto di progetto previsto nello *Studio-AIPo-2011*, con la vasca di laminazione a Senago caratterizzata da un volume pari a 810'000 m^3 , si otterrebbe un'onda di piena che prosegue a valle della presa di Palazzolo, verso Milano, caratterizzata da una portata al picco pari a circa 70 m^3/s (2.00 del 16/11/2015), che non è in fase con il picco di piena del solo bacino urbano tra Paderno D. e Milano, che si è verificato attorno alle ore 16.00 del 15/11/2015;
- l'idrogramma di piena dovuto al solo bacino idrografico compreso tra Palazzolo e Milano ha generato portate al colmo inferiori al limite della capacità di deflusso del tratto tombinato, e pertanto non avrebbe interessato, se non in minima parte, l'area di

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

laminazione prevista nel tratto di T. Seveso tra Palazzolo e Milano nell'assetto di progetto (volume pari a 300'000 m³);

- tale area di laminazione avrebbe, pertanto, potuto laminare parte dell'onda di piena generatasi nel bacino a monte di Palazzolo che, con riferimento all'assetto di progetto, sarebbe proseguita a valle dell'opera di presa del CSNO;
- il volume dell'onda di piena in arrivo al tratto tombinato di Milano (somma del contributo del bacino urbano tra Palazzolo e Milano e dell'onda proveniente da monte che oltrepassa la paratoia di regolazione della presa del CSNO) che eccede la capacità idraulica del tratto tombinato del Seveso a Milano (posto pari a 40 m³/s) sarebbe stato pari a circa 300'000 m³. Tale valore è pari al volume di laminazione previsto nei pressi di Milano.

Pertanto, con la presenza di tutti gli invasi previsti nell'assetto di progetto dello *Studio-AIPo-2011*, compreso quello a valle di Palazzolo, l'evento del 15-16 novembre non avrebbe indotto esondazioni a Niguarda.

Ovviamente, con la sola vasca di laminazione di Senago l'esondazione non sarebbe stata evitata, ma solo ridotta in termini di volume.

8.1.20 Sintesi delle analisi condotte con riferimento agli eventi reali che hanno causato esondazione a Milano

Dall'analisi degli eventi di piena che hanno indotto esondazioni in Comune di Milano emerge il seguente quadro, rappresentato nella seguente Tabella:

Tabella 5 – Sintesi dell’analisi degli eventi di piena che hanno causato esondazione a Milano nel periodo 2010-2014

Evento	Q _{monte} CSNO (Palazzolo)	Q _{valle} CSNO senza Senago	Volume onda per Q>30 m³/s	Volume onda per 30<Q<60 m³/s	Volume di laminazione a Senago	Q _{valle} CSNO con Senago	Esondazione a Milano		
	[m³/s]	[m³/s]	[m³]	[m³]	[m³]	[m³/s]	con laminazione a Senago	con laminazioni a Senago e a Paderno D.	con laminazioni a Senago, Paderno D., Varedo e Lentate S. Seveso
3/5/10	85	55	740'000	600'000	600'000	25	NO	NO	NO
12- 14/5/10	85	55	1'780'000	1'640'000	810'000	35	SI	NO	NO
5/8/10	100	70	630'000	400'000	400'000	40	SI/NO	NO	NO
12/8/10	95	65	970'000	740'000	740'000	35	NO	NO	NO
18/9/10	115	85	1'600'000	820'000	810'000	55	SI	NO	NO
1/11/10	100	70	2'800'000	2'000'000	810'000	70	SI	SI	NO
16/11/10	85	55	1'900'000	1'500'000	810'000	55	SI	NO	NO
27/5/11	60	30	135'000	135'000	135'000	0	NO	NO	NO
6/8/11	130	100	750'000	380'000	380'000	70	SI	NO	NO
12/9/12	115	85	530'000	300'000	300'000	55	SI	NO	NO
23/10/13	70	40	330'000	290'000	290'000	10	NO	NO	NO
25/06/14	60	30	250'000	250'000	250'000	0	NO	NO	NO
8/7/14	>150	>120	4'000'000	1'600'000	810'000	90	SI	SI	NO
26/7/14	60	30	585'000	585'000	585'000	0	NO	NO	NO
29/7/14	80	50	1'050'000	940'000	810'000	20	NO	NO	NO
03/8/14	90	60	820'000	630'000	630'000	30	NO	NO	NO
20/8/14	80	50	95'000	70'000	70'000	20	NO	NO	NO
12/11/14	110	80	3'200'000	1'940'000	810'000	70	SI	SI	NO
15/11/14	170	140	6'300'000	2'570'000	810'000	140	SI	SI	NO*

* In questo evento è stato considerato anche l'effetto della vasca di laminazione prevista a Milano

Si può pertanto affermare che, facendo riferimento agli ultimi 19 eventi di piena che hanno indotto fenomeni di esondazione in Comune di Milano, la presenza della vasca di laminazione di Senago (per una volumetria pari a circa 810'000 m³) avrebbe consentito di evitare n. 9 esondazioni (47%), mentre per un ulteriore evento si sarebbe raggiunta una condizione limite (portata di piena al colmo a valle della presa del CSNO pari alla capacità idraulica limite del T. Seveso tombinato a Milano).

Per gli eventi in cui, pur con la presenza della vasca di laminazione di Senago, si sarebbe comunque verificata l'esondazione (9 su 19, pari al 47% degli eventi), il volume degli allagamenti nel quartiere di Niguarda sarebbe stato tuttavia notevolmente ridotto.

È da rimarcare che la presenza di un ulteriore invaso di laminazione (ad esempio quello previsto a Paderno Dugnano nello *Studio-AIPo-2011*, caratterizzato da una volumetria pari a 950'000 m³) ridurrebbe ulteriormente il numero di eventi di esondazione. Considerando di tali eventi la porzione di idrogramma con portata maggiore di 30 m³/s (il volume al di sotto di tale

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

valore di portata può essere lasciato defluire nel CSNO), si stima che con la presenza dei due invasi di laminazione di Senago e Paderno Dugnano si sarebbero evitati almeno 15 dei 19 eventi di esondazione. Solo negli eventi del 1/11/2010, del 8/7/2014, del 12/11/2014 e 15/11/2014, pur con l'effetto delle suddette laminazioni, si sarebbe comunque ottenuta un'onda di piena a valle della presa del CSNO caratterizzata da una portata al colmo maggiore della capacità idraulica del T. Seveso in Comune di Milano. Ma, naturalmente, l'entità dell'esondazione in tale evento sarebbe stata ulteriormente ridotta rispetto al caso precedente con il solo invaso di Senago.

Con tutti gli invasi di laminazione previsti nello *Studio-AIPO-2011*, più quello previsto a Milano per l'evento del 15 novembre, non ci sarebbero stati fenomeni di esondazione.

8.1.21 Analisi degli eventi con portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m³/s verificatisi nel periodo 2010÷2014 (fino al 30 settembre)

Prendendo ora come riferimento non solo gli eventi che hanno provocato esondazioni a Milano, ma tutti gli eventi meteorici che si sono verificati nel periodo compreso tra il 2010 e il 2014, sono stati estrapolati tutti quelli caratterizzati da una portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m³/s.

Per tali eventi si è considerata la chiusura della paratoia a settore sul T. Seveso e la conseguente deviazione dell'intera portata nel CSNO, fino al limite massimo di 60 m³/s (capacità massima del CSNO dalla presa di Palazzolo fino alla vasca di laminazione di Senago), oltre il quale la portata eccedente tracima al di sopra della paratoia a settore e prosegue nel T. Seveso.

Di tali idrogrammi di piena si è considerato che la parte inferiore a 30 m³/s prosegue nel CSNO senza entrare nella vasca di laminazione di Senago, mentre la porzione compresa tra 30 e 60 m³/s venga laminata nell'invaso.

Dall'analisi condotta si è ottenuto che:

- nell'intero periodo considerato, il numero di eventi meteorici caratterizzati da una portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m³/s, che quindi avrebbero indotto lo sfioro nella vasca di laminazione di Senago, sono stati 87 (di cui 17 che hanno causato esondazione a Milano) ed in particolare: 23 nel 2010 (di cui 7 che hanno causato esondazione a Milano), 12 nel 2011 (di cui 2 che hanno causato esondazione a Milano), 8 nel 2012 (di cui 1 che ha

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

causato esondazione a Milano), 14 nel 2013 (di cui 1 che ha causato esondazione a Milano) e 30 nel 2014 fino al 30 settembre (di cui 6 che hanno causato esondazione a Milano). In media si sono verificati circa 17 eventi all'anno che avrebbero interessato la vasca di laminazione di Senago;

- il volume laminato complessivamente sarebbe stato pari a circa 23,8 Mm³ (di cui 9,2 Mm³ relativi agli eventi che hanno causato esondazioni a Milano). Il volume medio sfiorato nell'invaso di Senago per ciascun evento sarebbe stato pari a circa 270'000 m³.

Entrando più nel dettaglio si ha che:

- dei suddetti eventi, quelli caratterizzati da un volume inferiore a 50'000 m³ (volumetria del primo settore dell'invaso di Senago) sono stati 25 (29% del totale), in particolare: 5 nel 2010, 5 nel 2011, 3 nel 2012, 3 nel 2013 e 9 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, 5 eventi all'anno;
- gli eventi caratterizzati, invece, da un volume compreso tra 50'000 m³ e 545'000 m³, che quindi avrebbero interessato anche il secondo settore dell'invaso (il volume del secondo settore è pari a 495'000 m³) sono stati 44 (50% del totale), in particolare: 9 nel 2010, 6 nel 2011, 4 nel 2012, 9 nel 2013 e 16 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, circa 9 eventi all'anno;
- gli eventi caratterizzati, infine, da un volume compreso tra 545'000 m³ e 810'000 m³, che quindi avrebbero interessato anche il terzo settore dell'invaso (il volume del terzo settore è pari a 265'000 m³) sono stati 18 (21% del totale), in particolare: 8 nel 2010, 2 nel 2011 e 1 nel 2012, 2 nel 2013 e 5 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, circa 4 eventi all'anno.

Nella seguente Tabella sono riportati i risultati di tali analisi.

Tabella 6 – Analisi eventi meteorici con portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m³/s, sfioro nel CSNO e derivazione nella vasca di laminazione di Senago (per 30 < Q < 60 m³/s)

anno	2010	2011	2012	2013	2014 (fino 30/09)	totale	%
n. eventi	23	12	8	14	30	87	100%
Volume complessivo invasato [Mm ³]	9.0	2.6	1.5	3.1	7.6	23.8	
Volume medio ad evento [Mm ³]	0.39	0.21	0.19	0.22	0.26	0.27	
n. eventi con invaso solo nel I settore (V=50'000 mc)	5	4	3	3	9	24	28%
n. eventi con invaso nel II settoe (50'000 < V < 545'000)	9	6	4	9	16	44	50%
n. eventi con invaso nel III settoe (545'000 < V < 810'000)	9	2	1	2	5	19	22%

In base a quanto sopra riportato, è possibile stimare la frequenza con cui sarebbero stati interessati i tre settori dell'invaso, in particolare (v. Figura 77):

- il primo settore dell'invaso sarebbe stato interessato nei cinque anni considerati da un numero di eventi pari a 87 ed in particolare: 23 nel 2010, 12 nel 2011, 8 nel 2012, 14 nel 2013 e 30 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, circa 17 eventi all'anno;
- il secondo settore dell'invaso sarebbe stato interessato nei cinque anni considerati da un numero di eventi pari a 63 ed in particolare: 18 nel 2010, 8 nel 2011 e 5 nel 2012, 11 nel 2013 e 21 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, circa 12 eventi all'anno. Di tali 63 eventi, solo in 17 casi il secondo settore si sarebbe riempito interamente o quasi;
- il terzo settore dell'invaso, infine, sarebbe stato interessato nei cinque anni considerati da un numero di eventi pari a 18 ed in particolare: 9 nel 2010, 1 nel 2011, 1 nel 2012, 2 nel 2013 e 5 nel 2014 (fino al 30 settembre), in media, circa 4 eventi all'anno. Di tali 18 eventi, in 10 di essi il terzo settore si sarebbe riempito interamente.

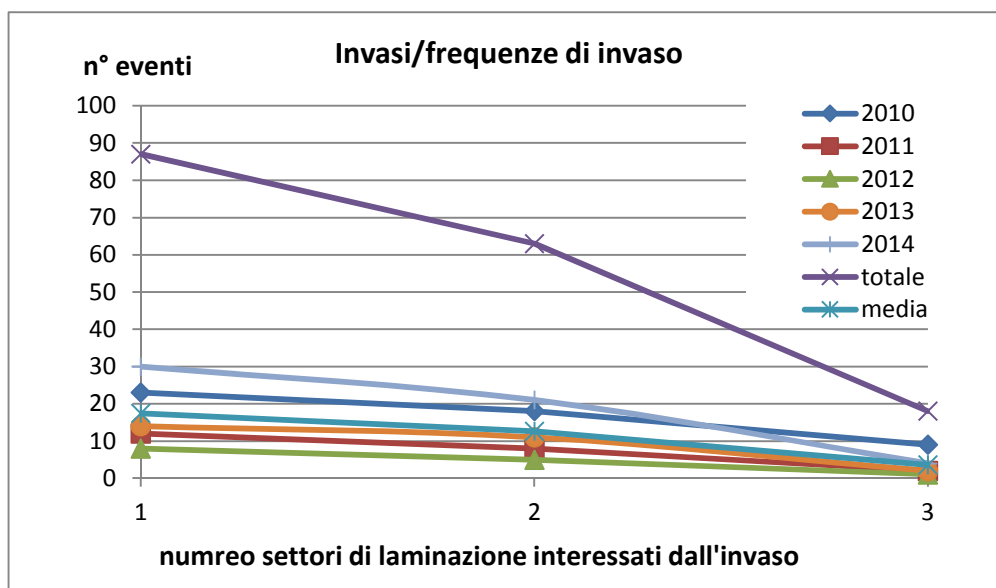


Figura 77 – frequenza con cui sarebbero stati interessati i tre settori dell'invaso nel periodo 2010-2014 (fino 30 settembre)

Prendendo come riferimento gli stessi eventi, è stato valutato il tempo di permanenza dell'acqua all'interno degli invasi, considerando sia la fase di riempimento (associata alla durata dell'idrogramma di piena per cui la portata è maggiore di $30 \text{ m}^3/\text{s}$), sia la fase di permanenza (durante il periodo in cui non è possibile cominciare a svuotare l'invaso in quanto la portata defluente nel CSNO è troppo elevata, all'incirca pari a $20\div 25 \text{ m}^3/\text{s}$), sia quella di svuotamento (associato ad una portata di scarico assunta pari a circa $5 \text{ m}^3/\text{s}$).

Dall'analisi condotta si è ricavato un tempo complessivo di presenza di acqua all'interno dell'invaso di Senago pari a 100 giorni nell'intero periodo 2010÷2014 (fino al 30/09) (circa 20 giorni all'anno in media), con la seguente ripartizione annuale: 37.5 giorni nel 2010, 9 giorni nel 2011, 5.5 giorni nel 2012, 14 giorni nel 2013 e 34 giorni nel 2014 (Figura 78).

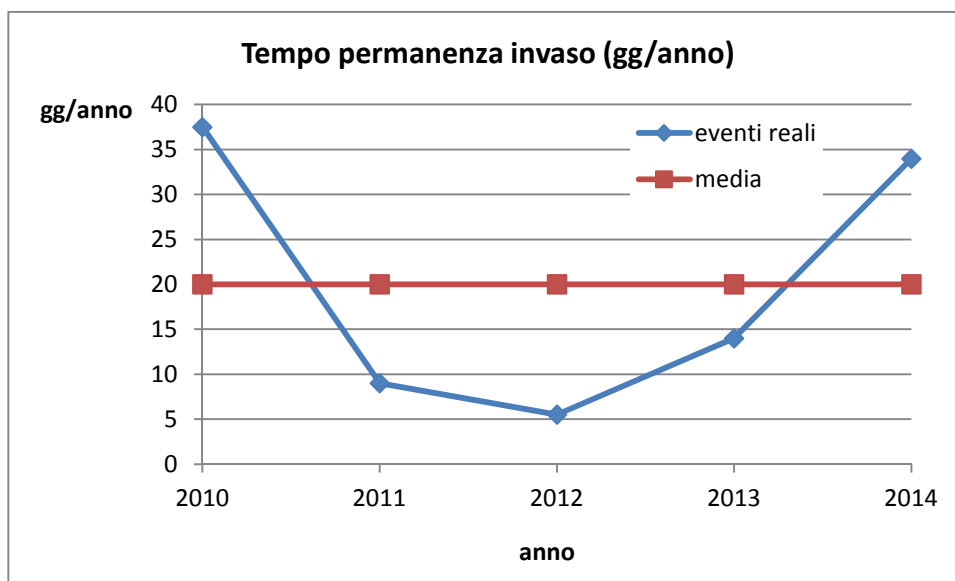


Figura 78 – Tempo di permanenza di acqua nell’invaso di laminazione nel periodo 2010-2014 (fino 30 settembre)

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).

Considerando che:

- il primo settore dell’invaso (volume pari a 50'000 m³) può essere interamente svuotato a gravità;
- nel secondo settore dell’invaso (volume pari a 495'000 m³) la parte che può essere scaricata a gravità, compresa tra la quota di massima regolazione pari a 159 m s.m. e la quota di circa 155.5 m s.m., è caratterizzata da una volumetria di circa 200'000 m³;
- nel terzo settore dell’invaso (volume pari a 265'000 m³) la parte che può essere scaricata a gravità, compresa tra la quota di massima regolazione pari a 159 m s.m. e la quota di circa 155.5 m s.m., è caratterizzata da una volumetria di circa 115'000 m³;

si ha che dell’intero volume invasato, pari a 23.8 Mm³, circa 9,3 Mm³ (mediamente 1,9 Mm³/anno) verrebbero scaricati a gravità (39%), mentre i restanti 14,5 Mm³ (in media 2,9 Mm³/anno) verrebbero scaricati mediante sollevamento meccanico (61%).

Nel grafico riportato in Figura 79 sono riportati i volumi invasati e la loro suddivisione in relazione alla modalità di scarico (a gravità o per sollevamento) nei cinque anni considerati.

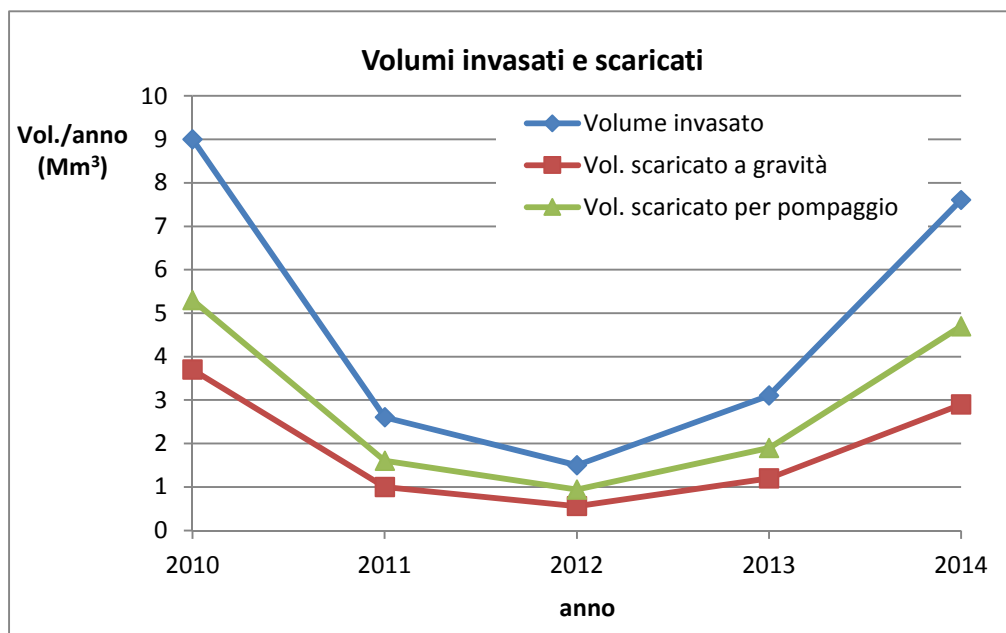


Figura 79 – Volumi invasati e modalità di scarico (a gravità e per pompaggio) nel periodo 2010-2014 (fino 30 settembre)

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.

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

Si richiama brevemente quanto riportato nel precedente paragrafo 2.4 in cui sono presentate le analisi volte a definire la frequenza di invaso della vasca di Senago e i benefici che la stessa può determinare, in relazione ad eventi di riferimento progettuale caratterizzati da diversi tempi di ritorno.

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

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

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).

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.

Le analisi effettuate (si rimanda al par. 2.4 per i dettagli) hanno evidenziato come l'invaso di Senago, unitamente agli effetti del CSNO, è in grado di annullare la portata di piena che prosegue verso Milano per tempi di ritorno pari a circa 2 anni; per valori del tempo di ritorno maggiori, l'invaso di laminazione di Senago consente comunque di ridurre la portata al colmo ed il volume che prosegue verso valle, diminuendo le entità degli allagamenti a Milano.

Per annullare la portata di piena verso Milano, in occasione di eventi caratterizzati da 5 anni di tempo di ritorno, occorrono almeno due invasi di laminazione.

Per eventi caratterizzati da 10 anni di tempo di ritorno occorrono, invece, tre invasi di laminazione.

Infine, per eventi caratterizzati da 100 anni di tempo di ritorno occorre disporre dell'intero programma degli interventi previsto nello *Studio-AIPo-2011*, costituito da n. 4 invasi di laminazione in scavo e da alcuni invasi in aree golenali, per una volumetria complessiva pari a circa 4.5 Mm³.

A.T.P.:				Consulenti:	
		<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>	<i>Dott. Ing. C. Tonetto</i>		<i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>

Milano, luglio 2015

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

Dott. Ing. Chiara Tonetto