

VASCA DI LAMINAZIONE SUL FIUME SEVESO

Comune di Senago (MI)
APRILE 2013

PROGETTO PRELIMINARE

MI-E-789



	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

ETATEC S.R.L.
SOCIETA' DI INGEGNERIA

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



Sistema Certificato
UNI EN ISO 9001
SC 06-847/EA 3



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



CONSULENZE SPECIALISTICHE:

ASPETTI PAESAGGISTICI E AMBIENTALI:

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

QUALITA' DELLE ACQUE:

Prof. Dott. VALERIA MEZZANOTTE

LAND Milano Srl



UNI EN ISO 9001
certificato 09.16.1.7



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		
	2		
Numero elaborato	TIPOLOGIA PP	COMMESSA 250-21	DOCUMENTO RT
			NUMERO A.4.1

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO .	5
2.1 ASSETTO ATTUALE	5
2.2 ASSETTO DI PROGETTO	14
2.3 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. SEVESO	21
2.3.1 Analisi evento per T=100 anni.....	21
2.3.2 Analisi evento per T=2 anni.....	25
2.3.3 Analisi evento per T=5 anni.....	25
2.3.4 Analisi evento per T=10 anni.....	26
3. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE GARBOGERA	28
3.1 ASSETTO ATTUALE	28
3.2 ASSETTO DI PROGETTO	31
3.3 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. GARBOGERA	35
4. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE PUDIGA	37
4.1 ASSETTO ATTUALE	37
4.2 ASSETTO DI PROGETTO	39
4.3 PORTATA E VOLUME DI RIFERIMENTO PER IL DIMENSIONAMENTO DELL'INVASO DI LAMINAZIONE DI SENAGO IN RELAZIONE AL T. PUDIGA	42
5. SINTESI DELLE PORTATE E DEI VOLUMI PER IL DIMENSIONAMENTO DELLA VASCA DI LAMINAZIONE DI SENAGO	45
6. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA IDRAULICO	48
6.1 GENERALITÀ	48
6.2 OPERA DI LAMINAZIONE.....	49
6.2.1 Soglie di sfioro per il collegamento tra il I e il II settore.....	51
6.2.2 Sistema di collegamento tra il II e il III settore	52
6.2.3 Scarichi di superficie del II e III settore	57
6.2.4 Determinazione della quota di coronamento delle arginature perimetrali.....	59

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

6.3	OPERE DI PRESA	60
6.3.1	Opere di presa sul CSNO	60
6.3.2	Opere di presa sul T. Garbogera	63
6.3.3	Opere di presa sul T. Pudiga	65
6.4	CANALE DI ALIMENTAZIONE DEL PRIMO SETTORE DI INVASO	67
6.5	SISTEMA DI SCARICO DELL'INVASO	70
7.	ANALISI DELLA FREQUENZA DI UTILIZZO E DEGLI EFFETTI INDOTTI IN TERMINI DI RIDUZIONE DELLE ESONDAZIONI A MILANO	76
7.1	ANALISI EVENTI REALI	76
7.1.1	Analisi evento 3 maggio 2010	79
7.1.2	Analisi evento 14 maggio 2010	81
7.1.3	Analisi evento 5 agosto 2010	83
7.1.4	Analisi evento 12 agosto 2010	84
7.1.5	Analisi evento 18 settembre 2010	85
7.1.6	Analisi evento 1 novembre 2010	86
7.1.7	Analisi evento 16 novembre 2010	87
7.1.8	Analisi evento 27 maggio 2011	89
7.1.9	Analisi evento 6 agosto 2011	90
7.1.10	Analisi evento 12 settembre 2012	91
7.1.11	Sintesi delle analisi condotte con riferimento agli eventi reali che hanno causato esondazione a Milano	93
7.1.12	Analisi degli eventi con portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m ³ /s verificatisi nel periodo 2010÷2012	94
7.2	ANALISI EVENTI SINTETICI (EVENTI DI TEMPO DI RITORNO 2, 5, 10, 100 ANNI)	98

1. PREMESSA

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

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:

- 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 presente progetto preliminare (la relazione è allegata al progetto preliminare, elaborato n. RT-2);
- 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..

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

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

opere che costituiscono l'invaso di laminazioni in oggetto;

- nel capitolo 7, 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).

2. CARATTERISTICHE IDROLOGICO-IDRAULICHE DEL TORRENTE SEVESO

2.1 ASSETTO ATTUALE

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

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

- la dimensione del bacino drenato. Il torrente Seveso ha un bacino di oltre 200 km², superiore al bacino dei corsi d'acqua delle Groane, che presentano la medesima caratteristica di immettersi al di sotto della città di Milano;
- il bacino ha origine nella zona delle prealpi e pertanto le onde di piena che interessano il corso d'acqua hanno una base di tipo “naturale” con volumetrie dell'onda superiori a quelle derivanti dagli ambiti collinari e urbani che caratterizzano gli altri corsi d'acqua limitrofi (Groane, Bozzente ed anche Lura);
- il corso d'acqua, fin dall'ingresso nel territorio comunale di Milano, è tombinato con capacità di deflusso (stimata in 30÷40 m³/s e limitata da vincoli a valle) assai inferiore rispetto all'apporto di monte;
- la capacità idraulica sopra riportata è appena sufficiente al drenaggio delle acque meteoriche urbane dell'hinterland per eventi che non superino i 2 anni di tempo di ritorno;
- 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, riassunti nel grafico riportato nella Figura 1, a Milano dal 1976 ad oggi si sono avute 90 esondazioni (in media 2,5 esondazioni all'anno). La frequenza delle esondazioni è aumentata negli ultimi anni, infatti dal 2005 ad oggi si sono verificate 19 esondazioni, con una media di 3,1 all'anno; particolarmente critico è stato l'anno 2010, durante il quale si sono verificate ben 8 esondazioni (03/05, 14/05, 23/07, 05/08, 12/08, 18/09, 01/11, 16/11), di cui particolarmente grave quella del 18 settembre.

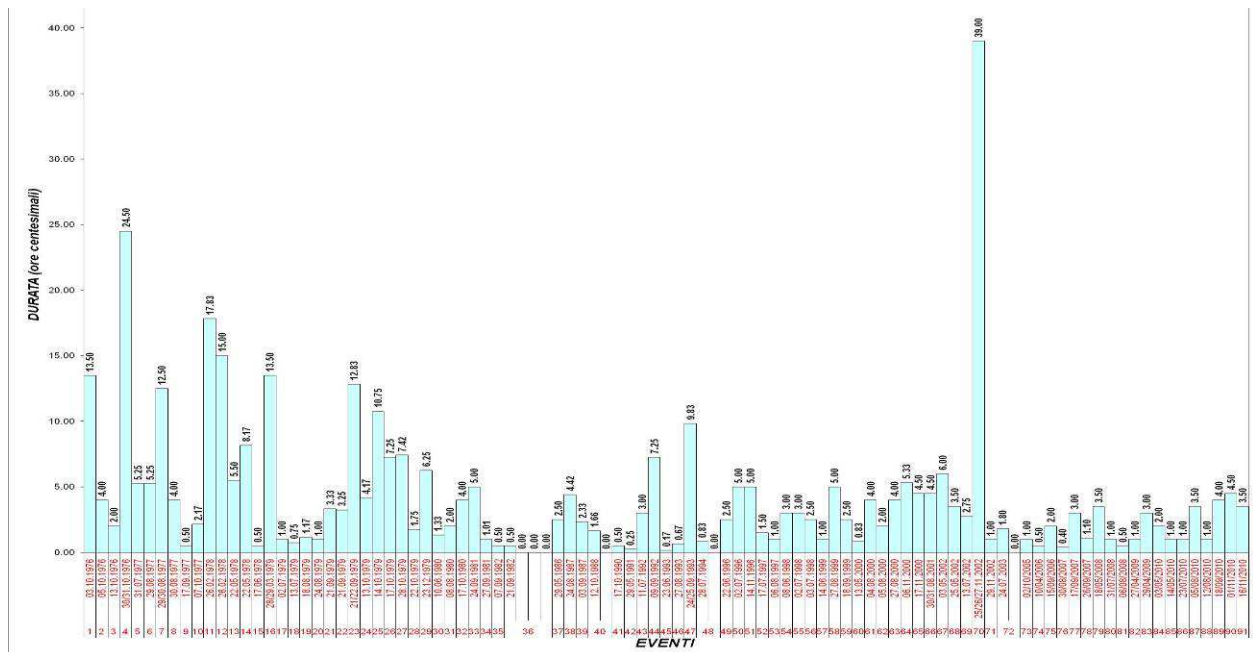


Figura 1 - Frequenza esondazioni del torrente Seveso in Milano (fonte: Comune Milano – MM S.p.A.)

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



Figura 2 – Allagamenti a Milano (sopra: anni '70; sotto: oggi)

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

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

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

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

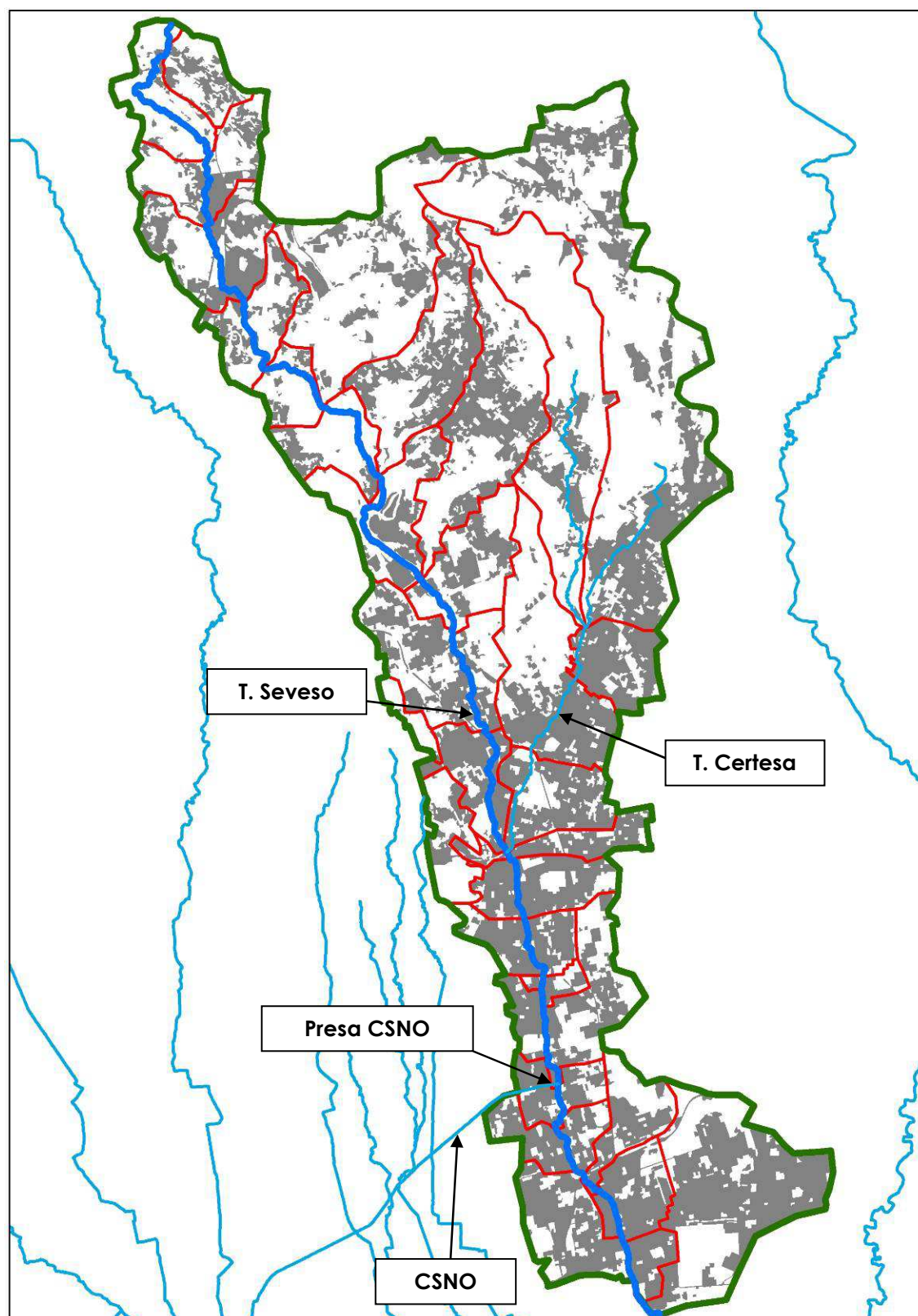


Figura 3 – Bacino idrografico del T. Seveso (in rosso sono indicati i sottobacini del modello idrologico, mentre in grigio sono indicate le aree urbanizzate aggiornate al 2007)

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

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.

Per poter rappresentare al meglio gli aspetti della dinamica fluviale che si sviluppa nell'asta principale del T. Seveso e nel CSNO in occasione delle piene, si è utilizzato il 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.

Il modello dell'asta principale del torrente Seveso è stato implementato attraverso 485 sezioni, 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 Marzaboto, ed in parte dal progetto definitivo “*Lavori di adeguamento funzionale del canale scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago e Settimo Milanese*”.

L'analisi 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 4, caratterizzato da un valore della portata al colmo pari a circa $150 \text{ m}^3/\text{s}$, con un volume dell'onda pari a circa $6,7 \text{ Mm}^3$.

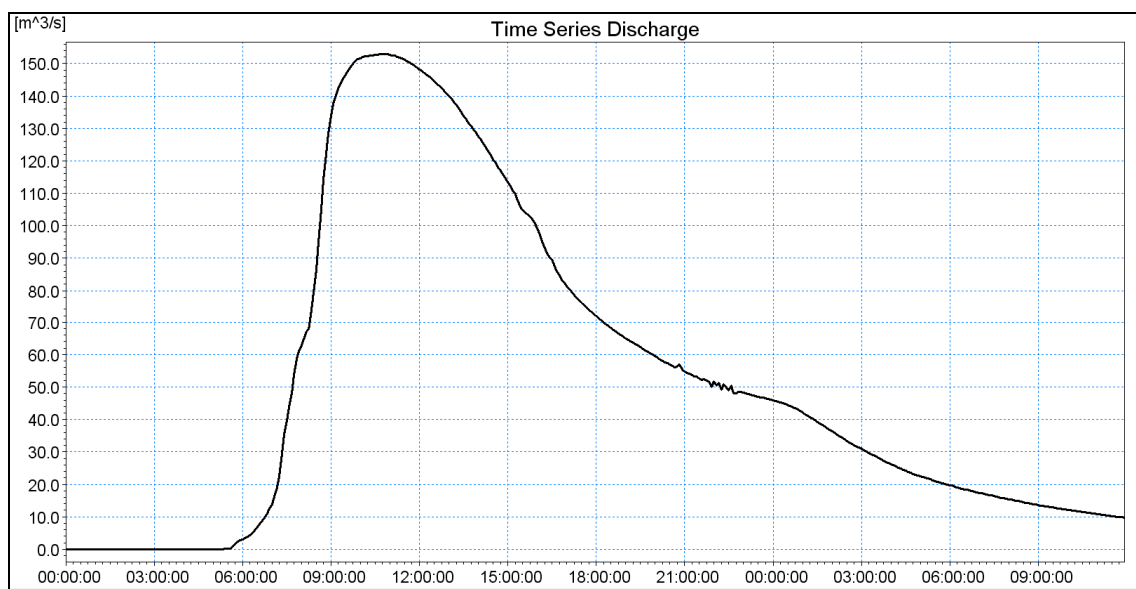


Figura 4 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

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.

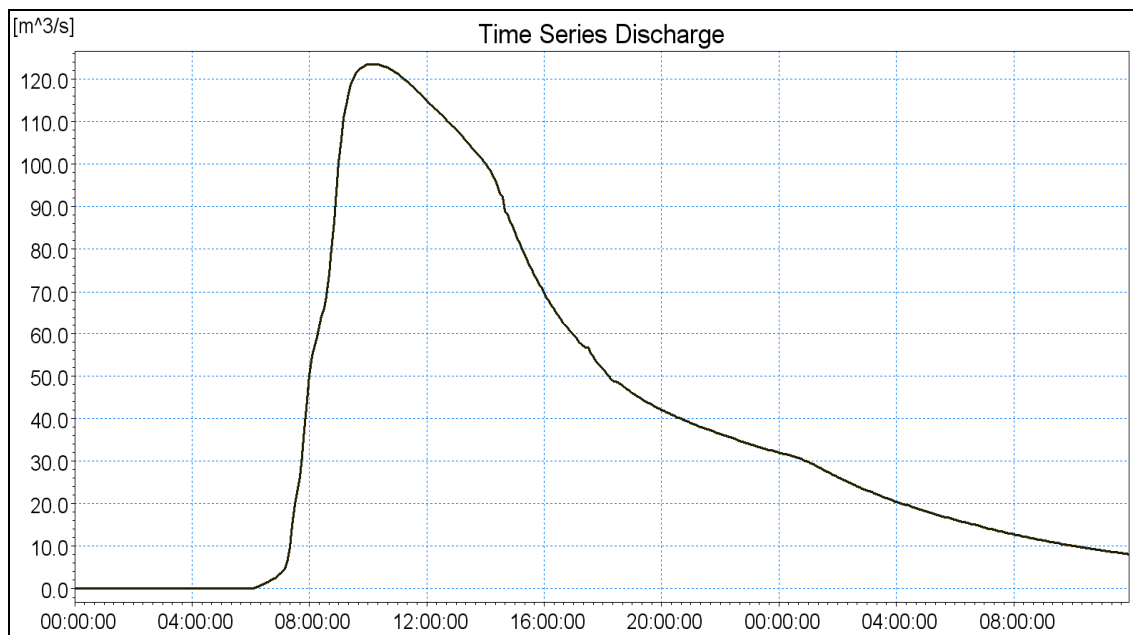


Figura 5 – Idrogramma T=10 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

L'evento di 10 anni di tempo di ritorno è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $120 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume dell'onda è pari a circa $5,0 \text{ Mm}^3$.

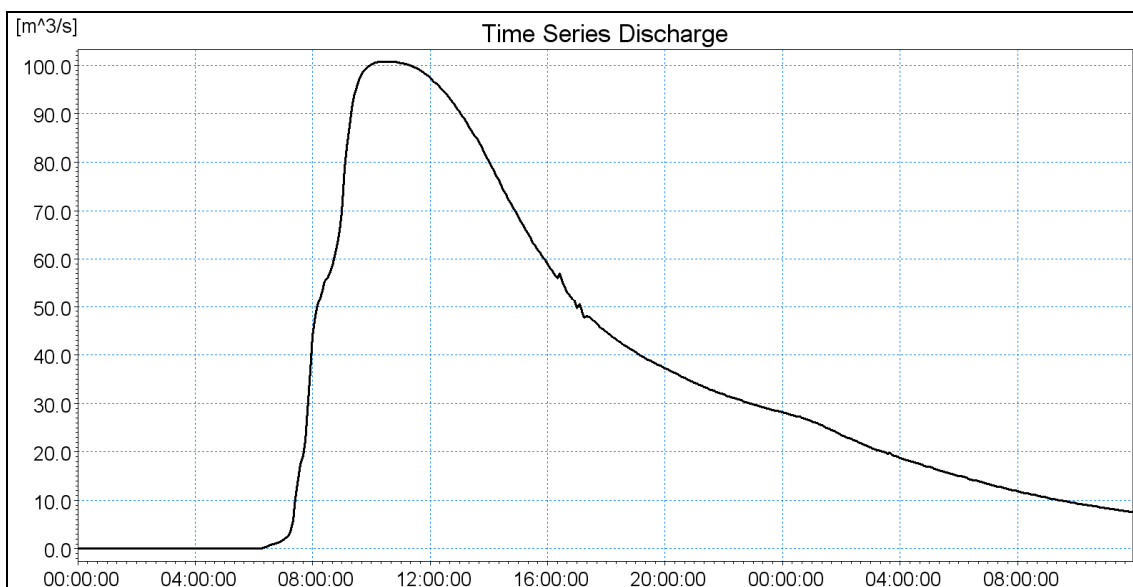


Figura 6 – Idrogramma T=5 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

L'evento di 5 anni di tempo di ritorno è caratterizzato, invece, da una portata al colmo pari a circa $100 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume dell'onda è pari a circa $4,3 \text{ Mm}^3$.

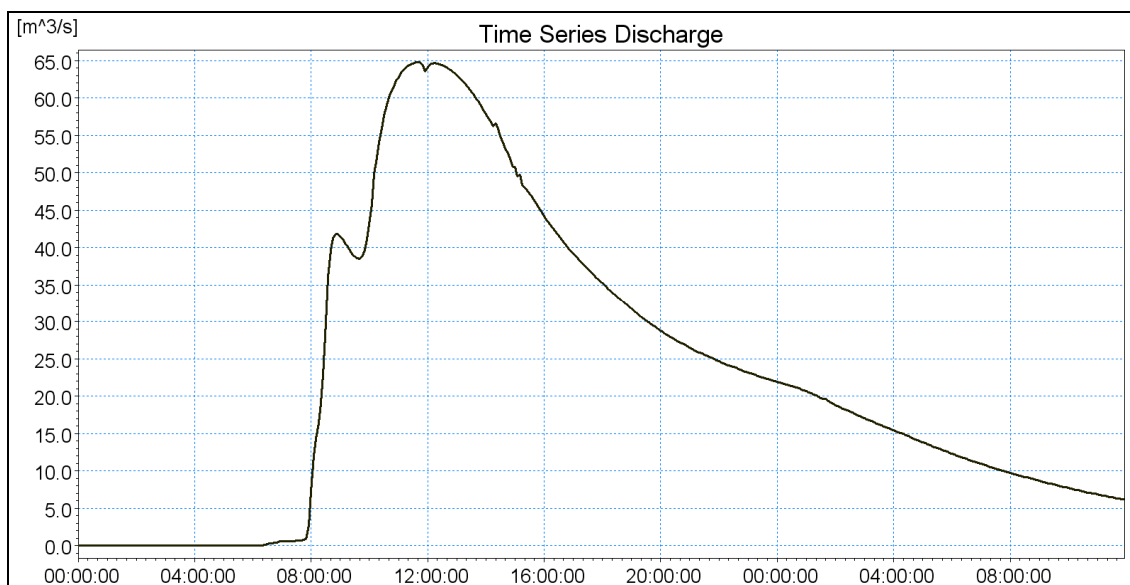


Figura 7 – Idrogramma T=2 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO

Infine, l'evento di 2 anni di tempo di ritorno è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$ e il volume dell'onda è pari a circa $2,9 \text{ Mm}^3$.

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 $40 \text{ m}^3/\text{s}$;
- l'unica opera fondamentale di difesa idraulica del territorio nord-milanese e di Milano attualmente operativa è costituita dal Canale Scolmatore Nord Ovest (CSNO), il quale è in grado di derivare dal Seveso una portata pari a circa $30 \text{ m}^3/\text{s}$;
- 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 2011 si sono verificate 90 esondazioni nella zona di Niguarda, in media 2,5 esondazioni all'anno.

2.2 ASSETTO DI PROGETTO

Sulla base delle analisi idrologica e idraulica relative allo stato di fatto sono state condotte 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 devono tenere in conto delle caratteristiche prevalentemente naturali del corso d'acqua nel tratto fino a Lentate sul Seveso e delle pesanti modificazioni antropiche intervenute nel tratto tra il comune di Lentate sul Seveso fino a nord di Milano.

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

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

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

Poiché, come già messo in evidenza nel suddetto 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

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

la portata in arrivo da monte, convenientemente limitata per effetto di importanti laminazioni poste lungo l'asta del Seveso, deve poter essere totalmente deviata nel CSNO.

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

Inoltre, considerato che il progetto definitivo relativo ai “*Lavori di adeguamento funzionale del Canale Scolmatore di Nord Ovest nel tratto compreso tra Senago (MI) e Settimo Milanese (MI) – M.I.E.781*” di AIPO e della Provincia di Milano (attualmente in fase di avvio dei lavori), ha come obbiettivo quello di garantire nel CSNO nella sezione immediatamente a monte dell'immissione del sfioro del T. Garbogera, una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$, occorre prevedere che anche lungo il primo tratto del CSNO siano disposte opere di laminazione in grado di ridurre la portata di piena centennale derivata dal Seveso fino a tale valore.

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

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

Poiché l'onda di piena del T. Seveso ($T=100$ anni) a monte del CSNO è caratterizzata da un volume di circa $6,7 \text{ Mm}^3$ 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, in questa fase di progetto preliminare, che il complesso delle laminazioni sia disposto in derivazione e con un effetto di “taglio” a portata costante (teoria della laminazione ottimale).

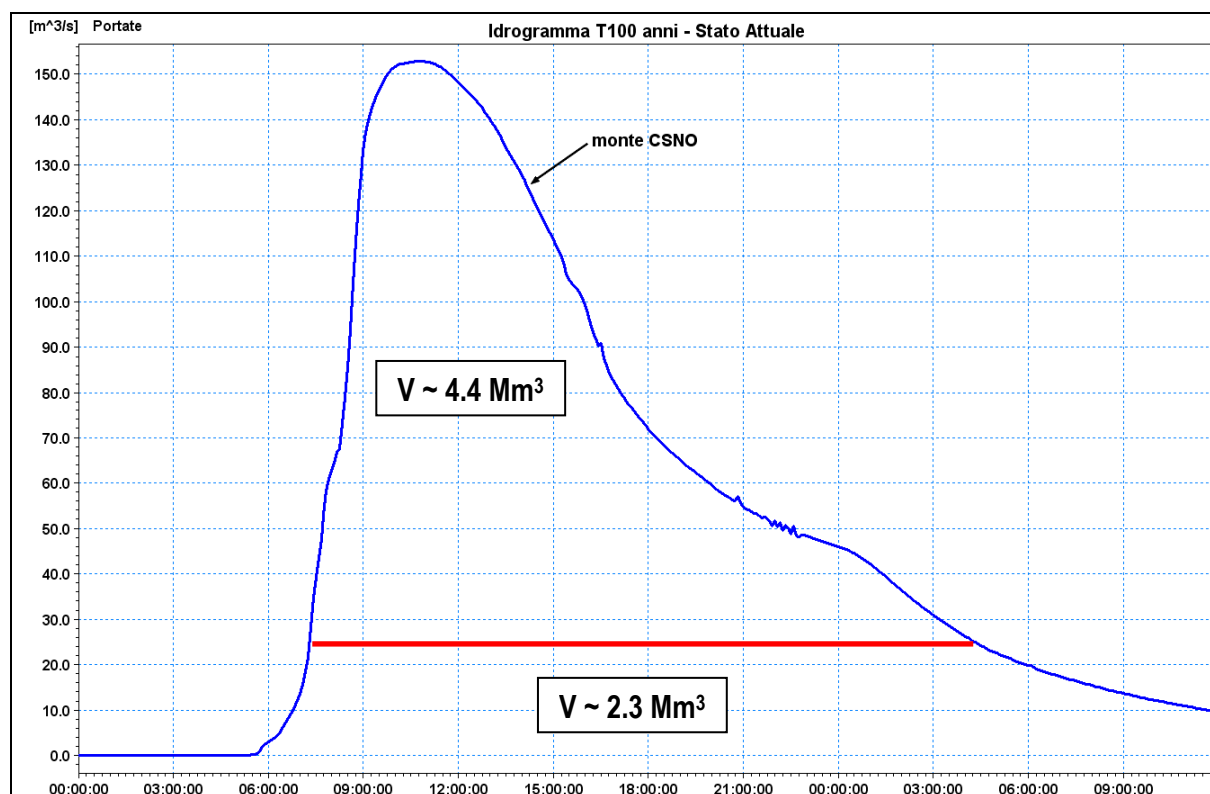


Figura 8 – Idrogramma di piena del T. Seveso a monte della presa del CSNO. La linea rossa rappresenta il limite della portata che può proseguire nel CSNO a valle di Senago (intersezione con il T. Garbogera)

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

In particolare, a seguito di una vasta analisi dello stato del corso d'acqua e del territorio ad esso limitrofo, lo *Studio-AIPo-2011* giunge a porre alla base dell'assetto di progetto del T. Seveso le seguenti possibili aree di laminazione indicate nelle planimetrie della Figura 9 e

della Figura 10:

- 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.

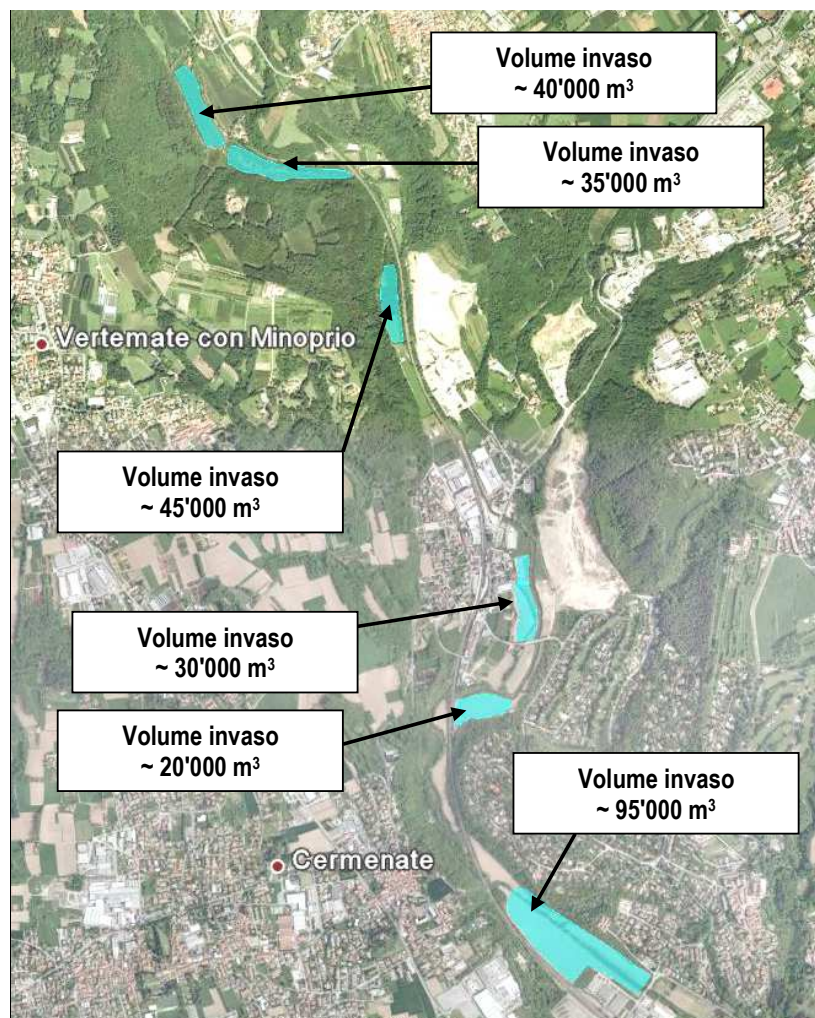


Figura 9 – Invasi di laminazione in aree golenali nei comuni di Vertemate con Minoprio, Cantù e Carimate

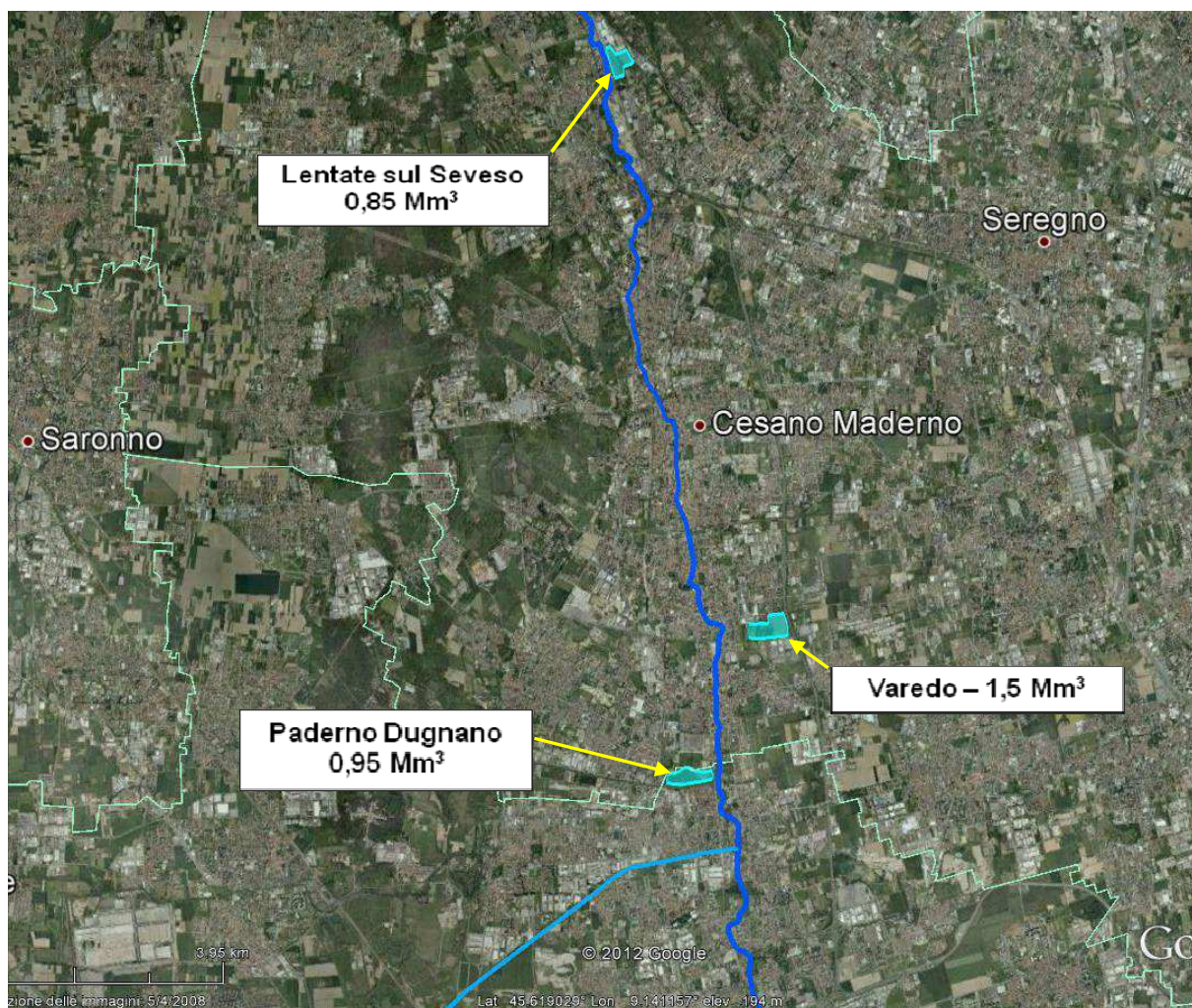


Figura 10 – Invasi di laminazione in scavo da Lentate sul Seveso al CSNO

Per quanto riguarda l’invaso di laminazione di cui al prima citato punto c) previsto in prossimità del CSNO, in Comune di Senago, sono state analizzate diverse alternative di localizzazione, presentate nella relazione RT-2 “*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 nella soluzione denominata 3-ter, rappresentata nella Figura 11, quella ottimale. Il presente progetto preliminare è pertanto stato redatto con riferimento a tale configurazione.

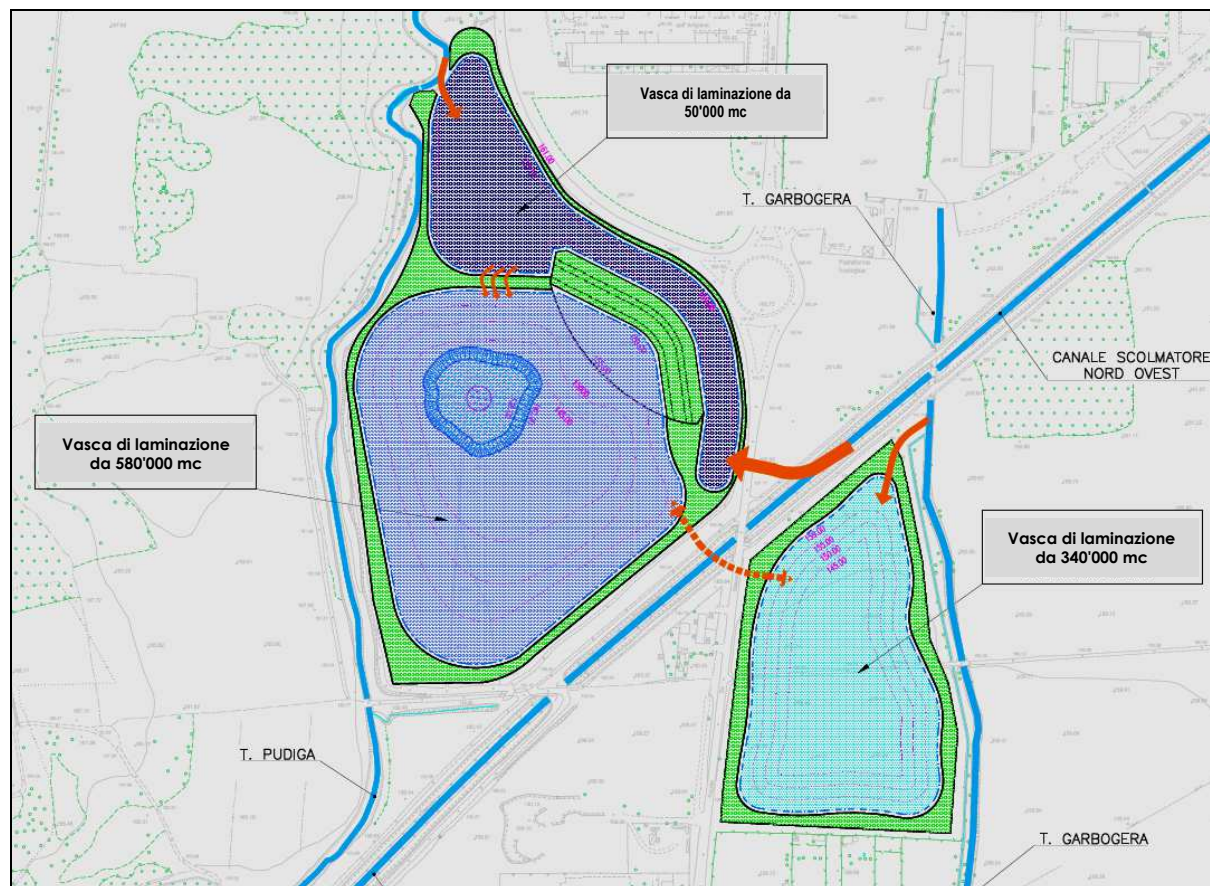


Figura 11 – Schema Alternativa n. 3-ter.

Mentre nella precedente Figura 4 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 12 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 gli invasi di laminazione previsti a monte (in particolare quelli a Lentate sul Seveso, a Varedo e a Paderno Dugnano). Tale idrogramma, in base a quanto definito in precedenza, viene scolmato interamente nel CSNO, in quanto nel Seveso, a valle della presa del CSNO, la portata deve essere nulla per poter garantire condizioni di sicurezza a valle, con particolare riferimento al tratto in attraversamento della Città di Milano.

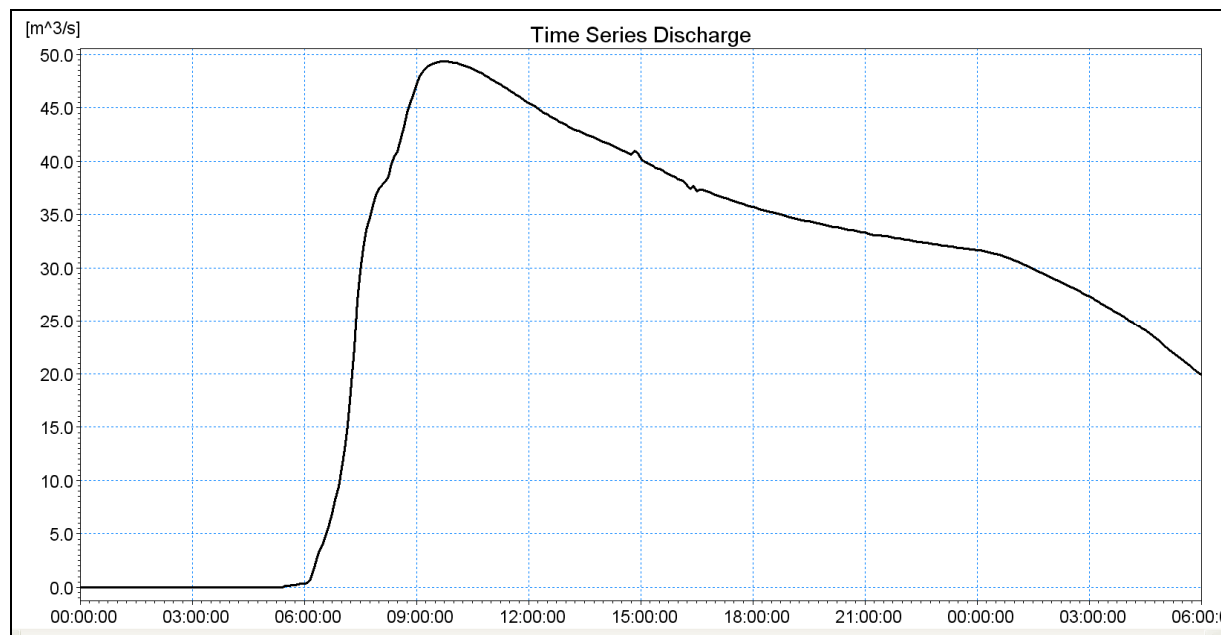


Figura 12 – Idrogramma T=100 anni in corrispondenza della sezione SV 24 a monte del CSNO – assetto di progetto (tale idrogramma viene scolmato interamente nel CSNO; nel Seveso, a valle della presa del CSNO la portata è nulla).

Nella Figura 13 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 m³/s, la porzione di idrogramma che viene sfiorato nell'invaso di Senago, nell'assetto di progetto, è caratterizzato da una portata al colmo pari a circa 22 m³/s e da un volume di circa 1'000'000 m³.

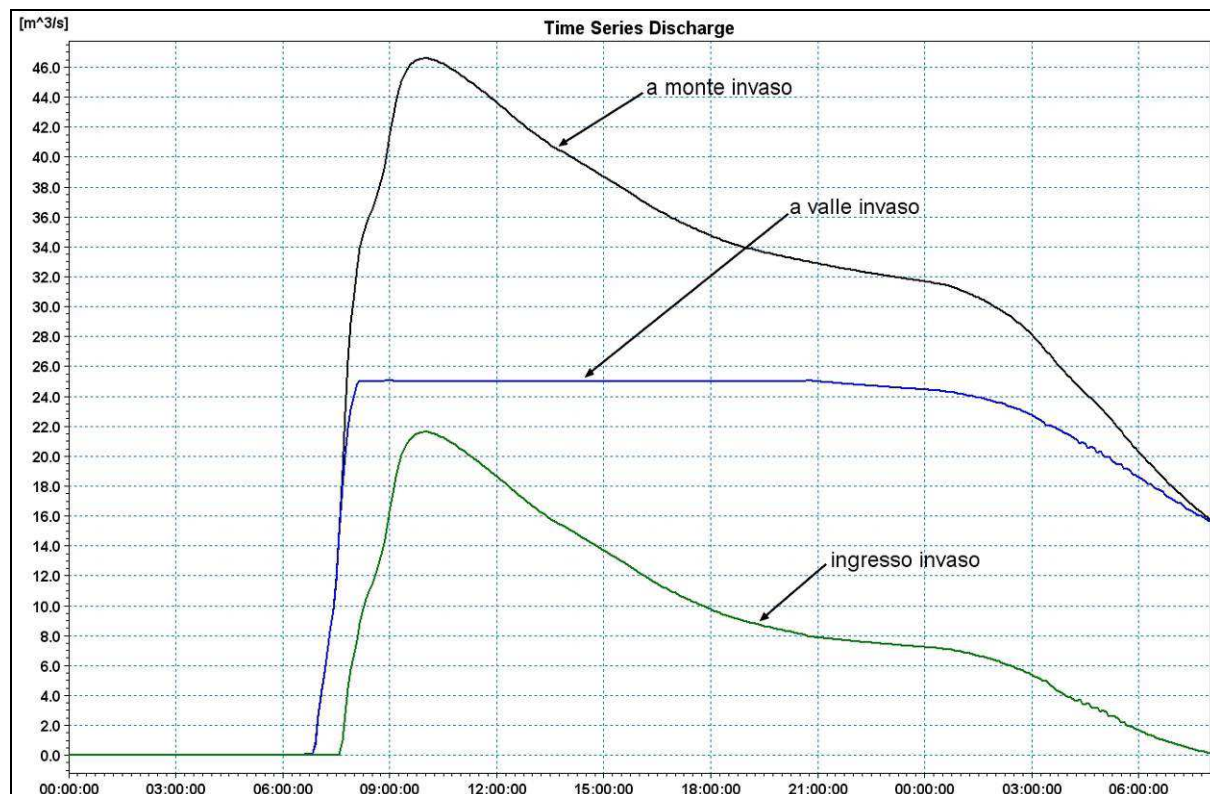


Figura 13 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto di progetto.

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

2.3.1 Analisi evento per T=100 anni

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, per un tempo di ritorno pari a 100 anni.

Pertanto, per il dimensionamento delle opere dell'invaso di Senago non è stato considerato il valore di portata di 22 m³/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 Seveso e il T. Garbogera è pari a 60 m³/s e che, come già detto in precedenza, la portata a monte dell'immissione dello sfioro del T. Garbogera deve essere pari a 25 m³/s, si ha che 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 7) 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 14 viene riportato lo schema di ripartizione delle portate tra il T. Seveso, il CSNO e l'invaso di laminazione di Senago.

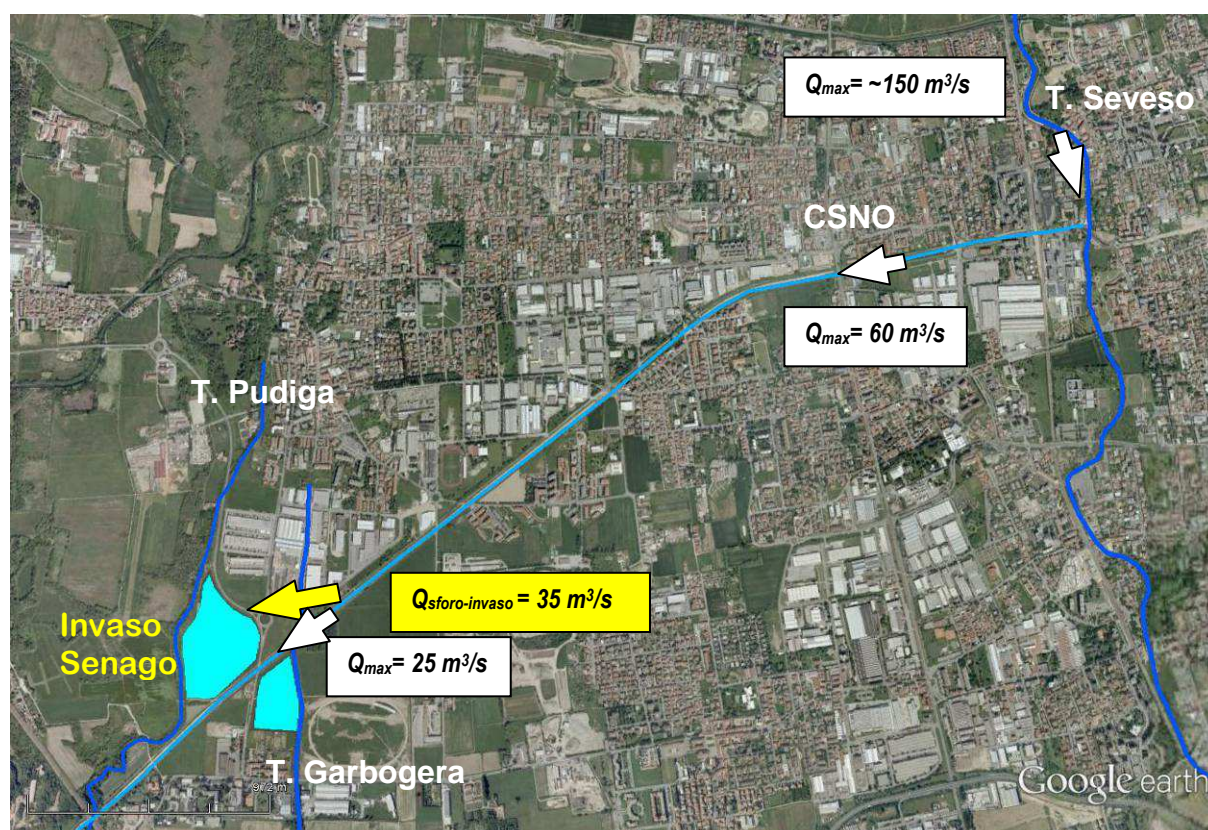


Figura 14 – Schema di ripartizione delle portate tra il T. Seveso, il CSNO e l'invaso di laminazione di Senago.

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 circa 1'000'000 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 15 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.

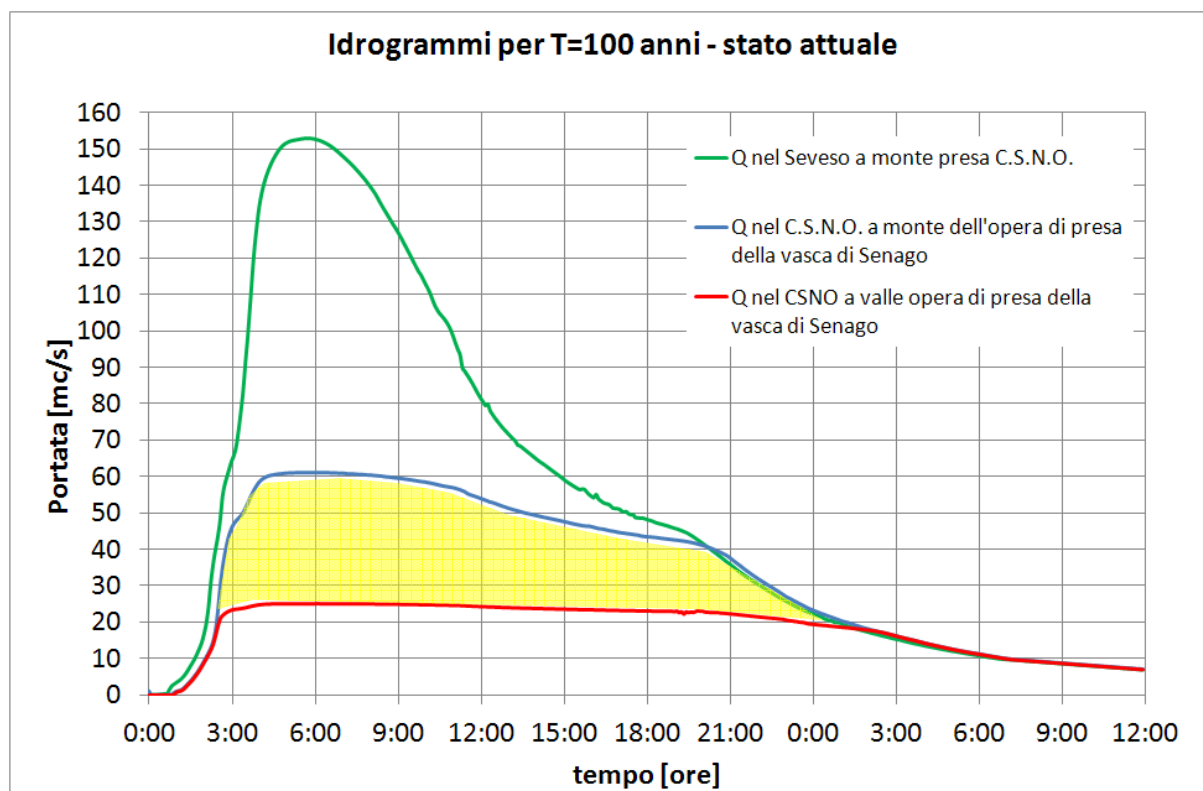


Figura 15 – Invaso di Senago: idrogrammi di piena T=100 anni assetto attuale. L'area di colore giallo rappresenta la porzione dell'onda di piena compresa tra 60 m³/s e 25 m³/s, caratterizzata da un volume di 2Mm³.

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

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 pieno la portata sfiorata nel CSNO sia ridotta, con strozzatura della luce, 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 compresa tra 60 e 25 m³/s); in prima approssimazione 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 invasore di almeno 40'000 m³. Ciò corrisponde ad un livello idrico nel terzo 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'obbiettivo 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.

2.3.2 Analisi evento per T=2 anni

Nella Figura 16 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e $30 \text{ m}^3/\text{s}$ comprende un volume di circa $700'000 \text{ m}^3$ che quindi può essere completamente invasato nella vasca di Senago, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa $5 \text{ m}^3/\text{s}$ 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.

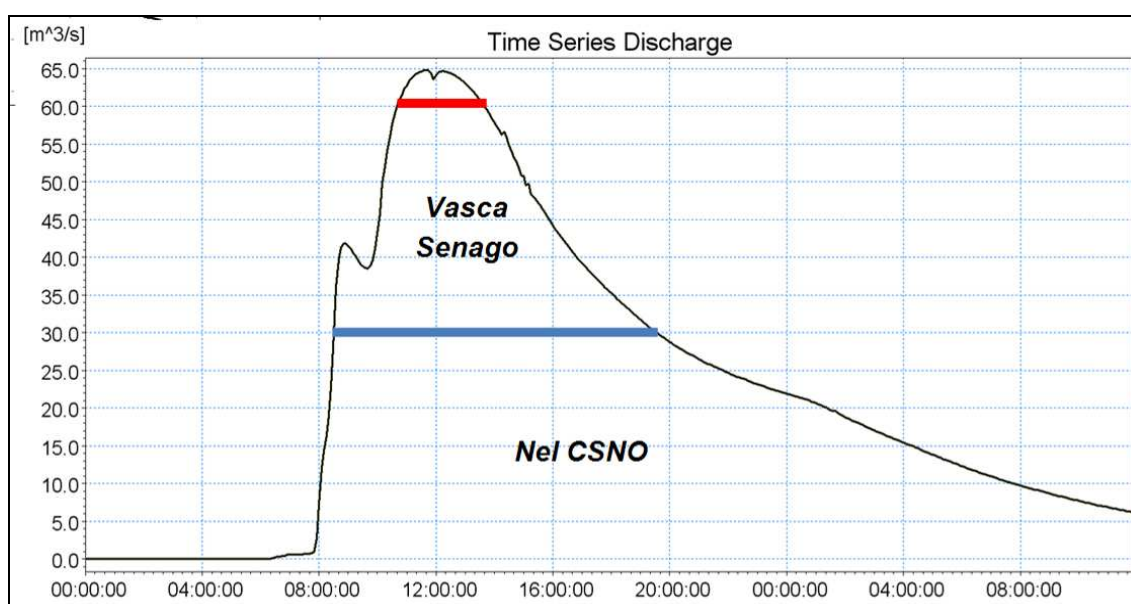


Figura 16 – Analisi evento per T=2 anni

2.3.3 Analisi evento per T=5 anni

Nella Figura 17 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e $30 \text{ m}^3/\text{s}$ comprende un volume di circa $1'000'000 \text{ m}^3$, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se, quindi, nella situazione attuale prosegue verso Milano una portata al colmo di circa $70 \text{ m}^3/\text{s}$, con le vasche di Senago si ottiene una consistente riduzione di tale portata da $70 \text{ m}^3/\text{s}$ a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ e una ancora più consistente riduzione del volume che prosegue verso Milano da $1,8$

Mm^3 a $0,8 \text{ Mm}^3$ (-55%).

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. La parte di idrogramma, superiore a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ nel CSNO a valle della laminazione di Senago, che eccede la possibilità di invaso all'interno della vasca di Senago, è pari a circa $800'000 \text{ m}^3$, per cui con la presenza anche della vasca di laminazione prevista a Paderno Dugnano (volume d'invaso pari a $950'000 \text{ m}^3$ e portata massima derivabile ipotizzata pari a $40 \text{ m}^3/\text{s}$) si otterrebbe l'obiettivo di annullare completamente la portata del T. Seveso che in piena prosegue verso Milano a valle della presa del CSNO.

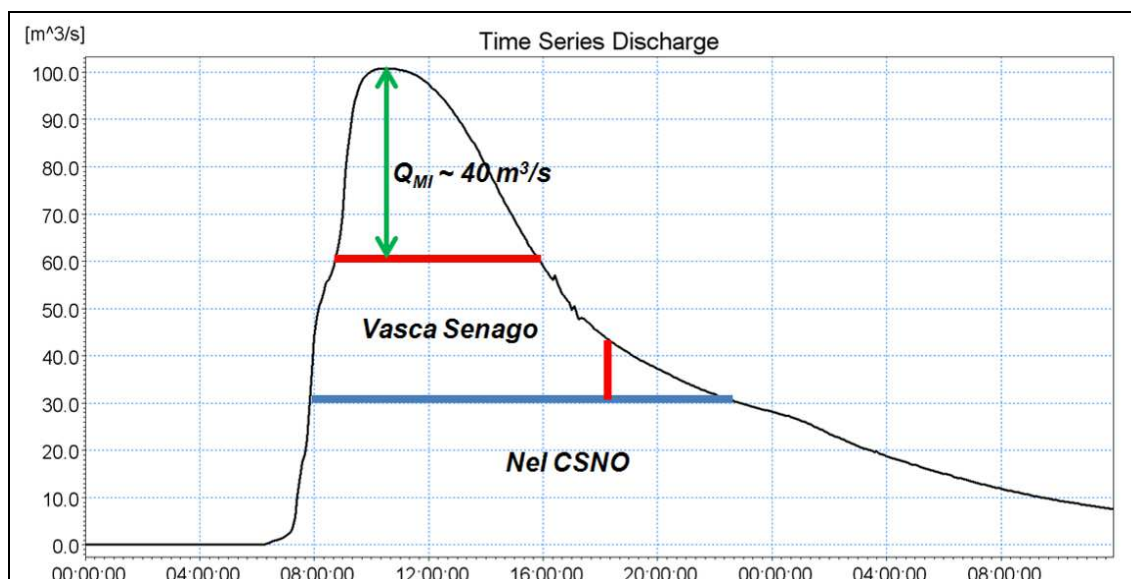


Figura 17 – Analisi evento per T=5 anni

2.3.4 Analisi evento per T=10 anni

Nella Figura 18 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ e $30 \text{ m}^3/\text{s}$ comprende un volume di circa $1'000'000 \text{ m}^3$, mentre la portata massima che prosegue verso Milano è pari a circa $65 \text{ m}^3/\text{s}$.

Se, quindi, nella situazione attuale prosegue verso Milano una portata al colmo di circa 95

m^3/s , con le vasche di Senago si ottiene una riduzione di tale portata da $95 \text{ m}^3/\text{s}$ a $65 \text{ m}^3/\text{s}$ e una consistente riduzione del volume che prosegue verso Milano da $2,5 \text{ Mm}^3$ a $1,5 \text{ Mm}^3$ (-40%).

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.

La parte di idrogramma, superiore a $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (nel CSNO a valle della laminazione di Senago), che eccede la possibilità di invaso all'interno della vasca di Senago, è pari a circa $1'500'000 \text{ m}^3$.

Con l'aggiunta della vasca di laminazione di Paderno Dugnano (volume d'invaso pari a $950'000 \text{ m}^3$ e portata massima derivabile ipotizzata pari a $40 \text{ m}^3/\text{s}$) si otterrebbe l'obiettivo di ridurre la portata del T. Seveso verso Milano a valle della presa del CSNO a valori prossimi a $25\div30 \text{ m}^3/\text{s}$. Si segnala che un effetto del tutto analogo si otterrebbe con l'invaso di Varedo al posto di quello di Paderno D.. Infatti, pur avendo un volume pari a $1'500'000 \text{ m}^3$, il volume invasabile in ragione della portata massima derivabile e dell'idrogramma in corrispondenza di tale vasca sarebbe stato anche in questo caso pari a circa $1'000'000 \text{ m}^3$.

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.

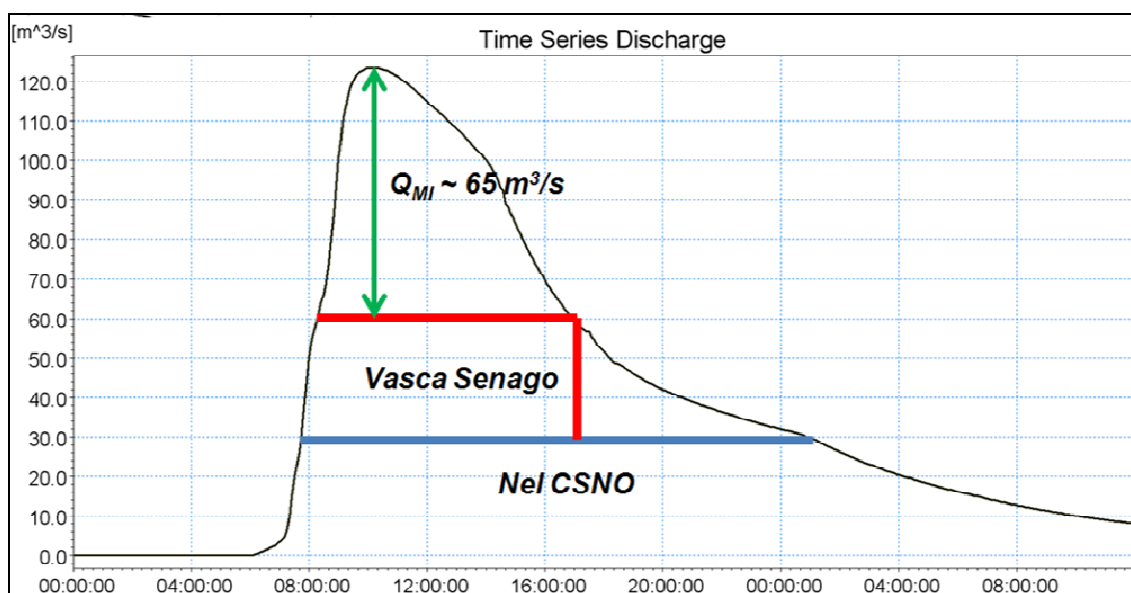


Figura 18 – Analisi evento per T=10 anni

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 transistanti.

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 Braversagna 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.: 	Studio Associato di <i>Geologia Spada</i>		Consulenti: <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 19 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 20, 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 $3,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

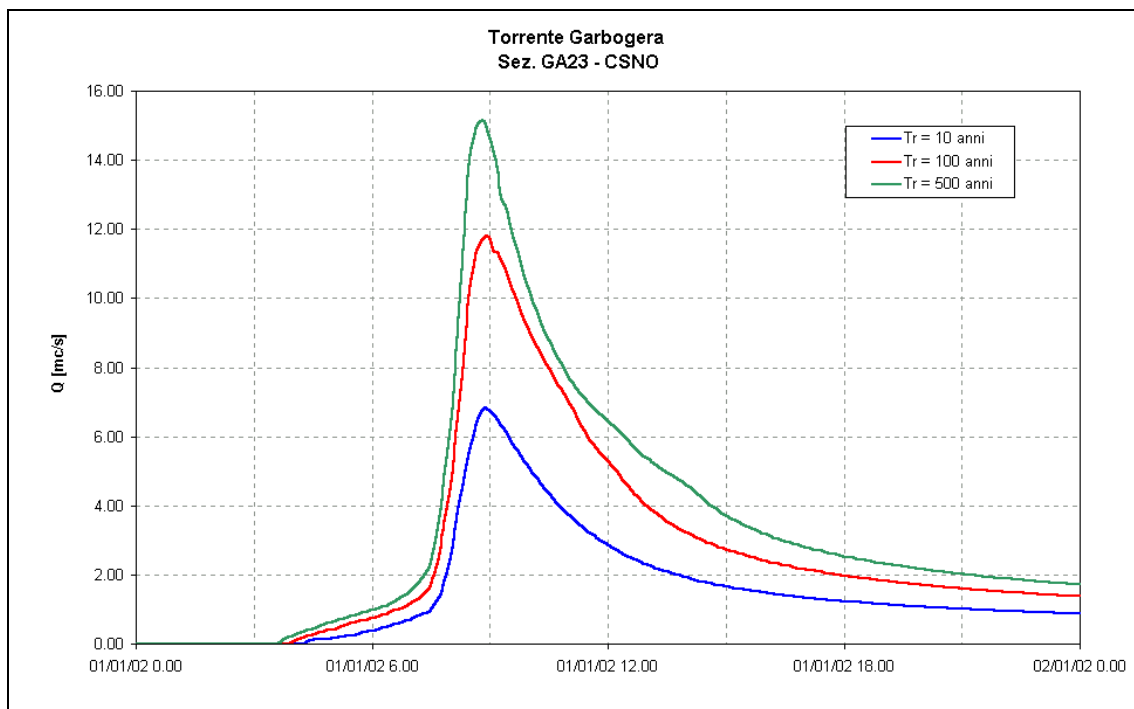


Figura 19 – Idrogrammi di piena del T. Garbogera a monte del CSNO, nei pressi dell’invaso di laminazione di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

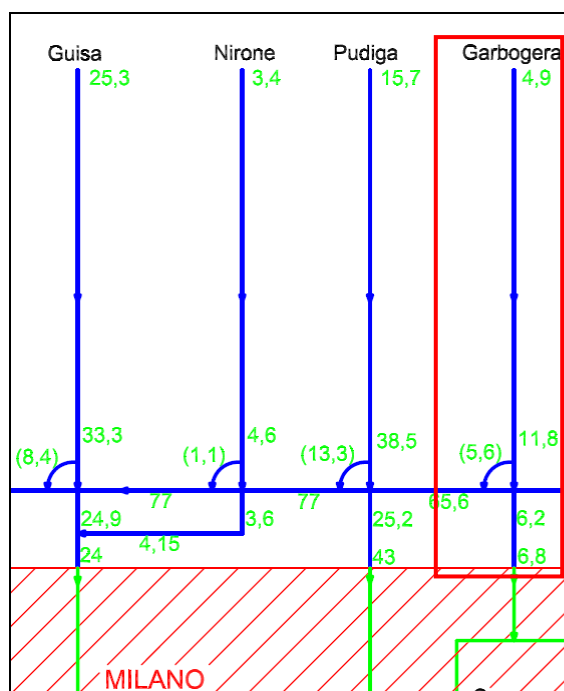


Figura 20 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nelle condizioni attuali per gli eventi di piena di riferimento (T=100 anni) (fonte: Studio-AdBPo 2004)

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 $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $6.6 \text{ m}^3/\text{s}$ a $1.0 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella Figura 21 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 22 e nella Figura 23, 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.

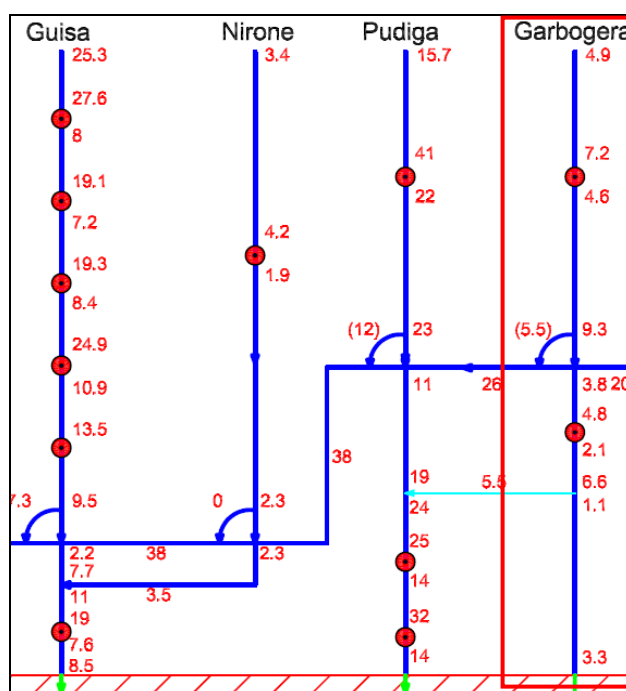
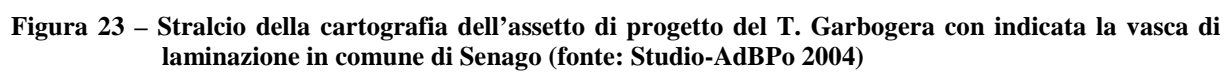
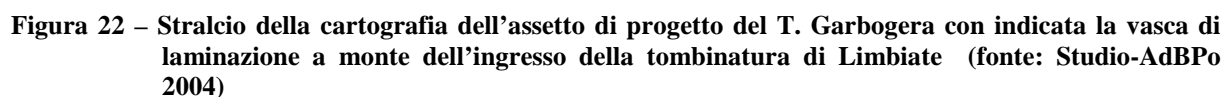


Figura 21 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nell'assetto di progetto per gli eventi di piena di riferimento ($T=100$ anni). I pallini rossi si riferiscono alle opere di laminazione previste nell'assetto di progetto (fonte: Studio-AdBPo 2004)



	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: 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 24 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 25 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% del volume d'invaso disponibile nell'invaso di laminazione di Senago).

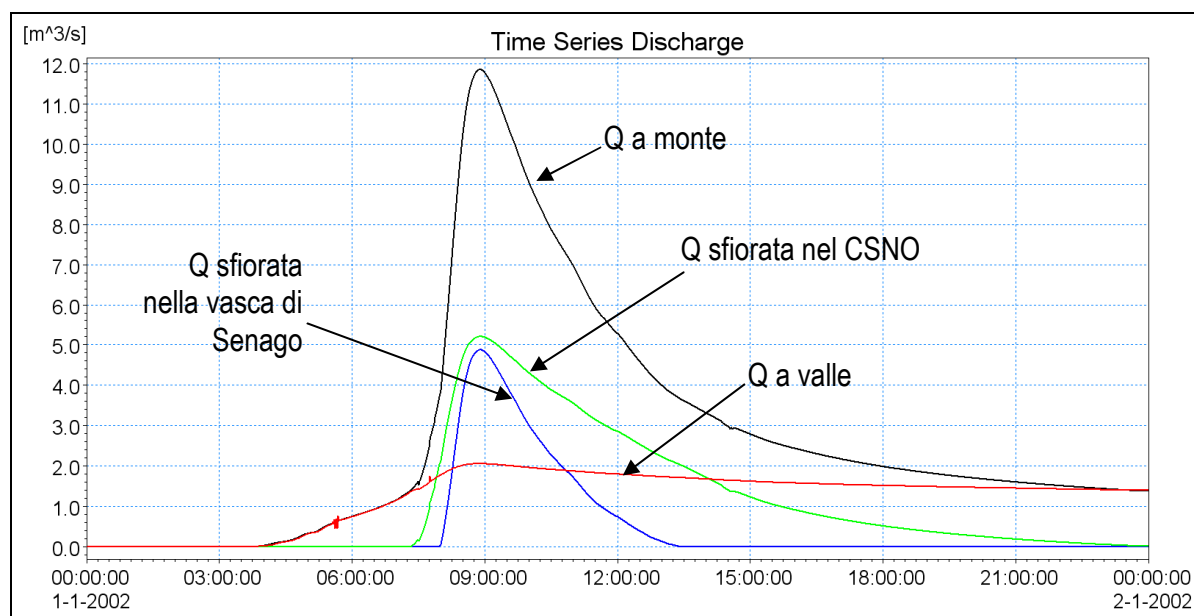


Figura 24 – Idrogrammi di piena del T. Garbogera nei pressi della vasca di laminazione di Senago

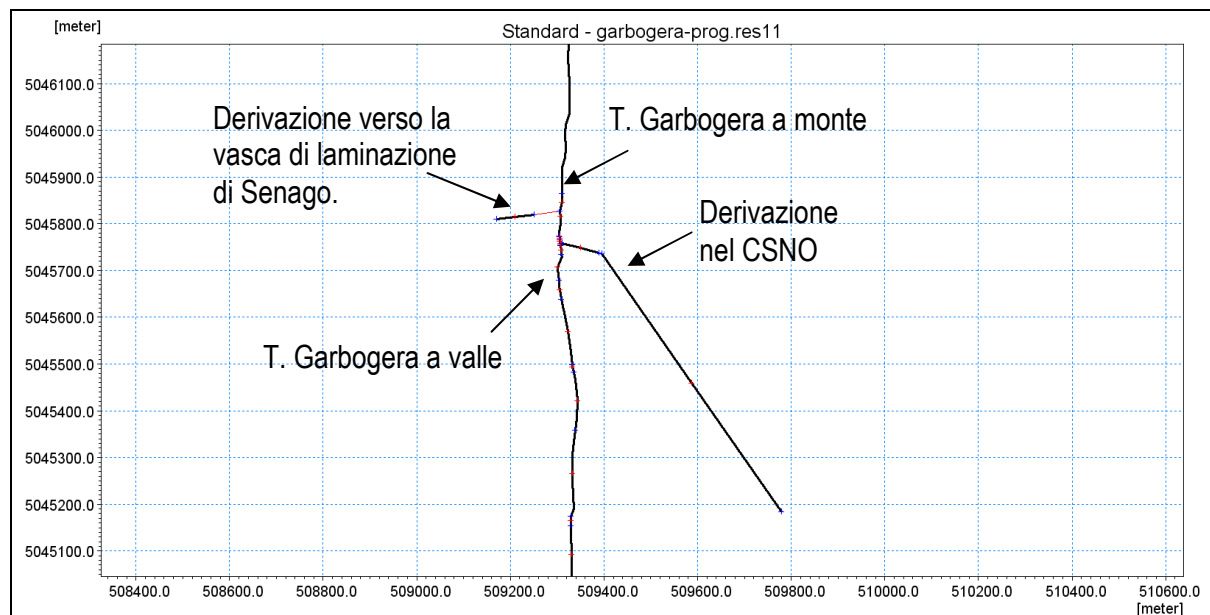


Figura 25 – Schema del modello di calcolo del T. Garbogera nei pressi della derivazione verso la vasca di laminazione di Senago e dell'opera di scolmo nel CSNO

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.

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 26 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 27, 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.

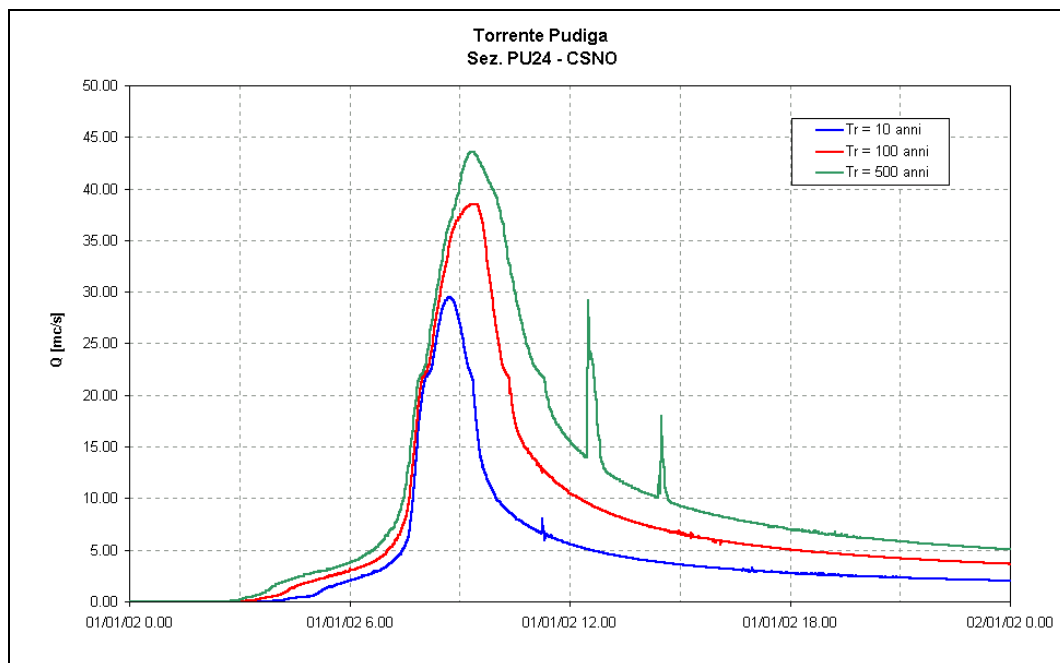


Figura 26 – Idrogrammi di piena del T. Pudiga a monte del CSNO, nei pressi dell'invaso di laminazione di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

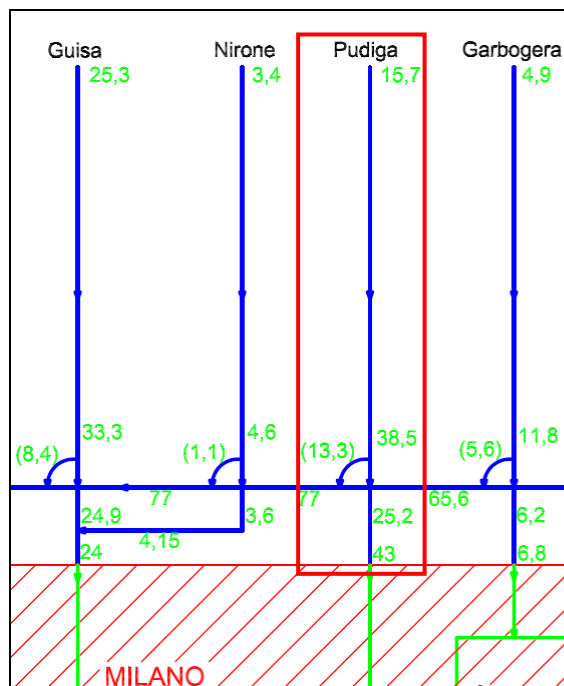


Figura 27 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nelle condizioni attuali per gli eventi di piena di riferimento (T=100 anni) (fonte: Studio-AdBPo 2004)

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 inalterata la portata massima derivata dal T. Pudiga nel CSNO rispetto a quella attuale, pari a $13,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

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

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 28 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 29, 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.

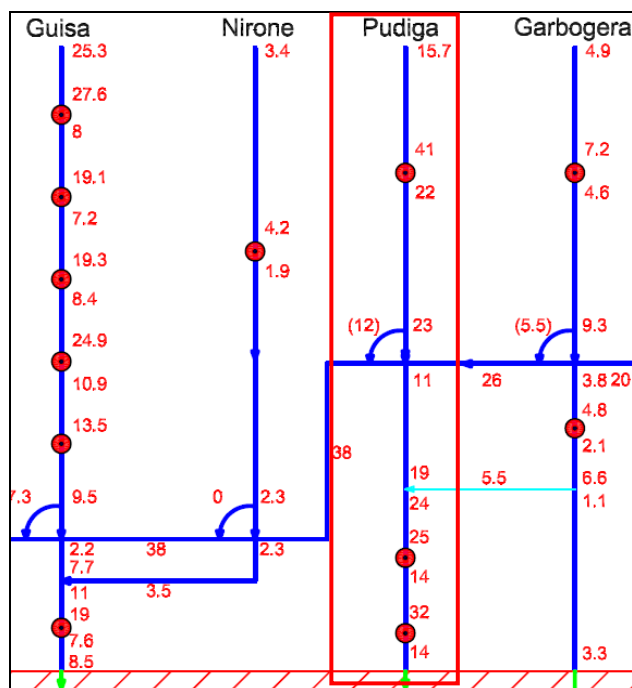


Figura 28 – Stralcio dello schema funzionale del reticolo nell'assetto di progetto per gli eventi di piena di riferimento ($T=100$ anni). I pallini rossi si riferiscono alle opere di laminazione previste nell'assetto di progetto (fonte: Studio-AdBPo 2004)

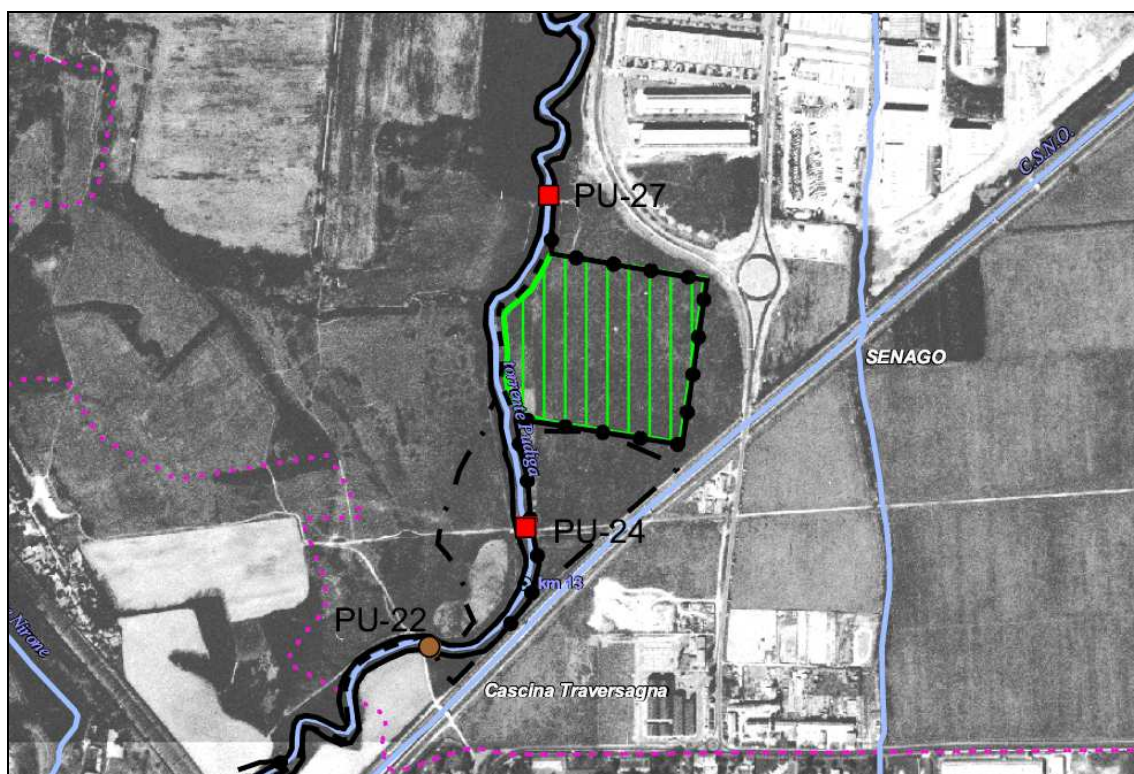





Figura 29 – Stralcio della cartografia dell'assetto di progetto del T. Pudiga con indicata la vasca di laminazione in comune di Senago (fonte: Studio-AdBPo 2004)

	A.T.P.: 	Studio Associato di <i>Geologia Spada</i>		Consulenti: <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 30 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 31 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% del volume d'invaso disponibile nell'invaso di laminazione di Senago).

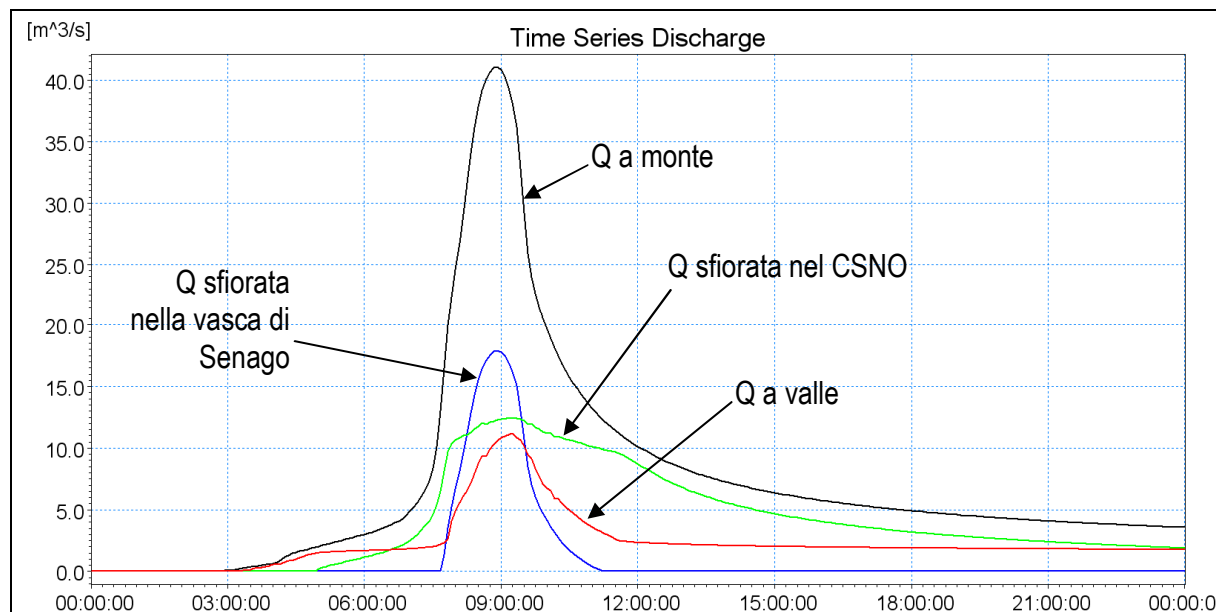


Figura 30 – Idrogrammi di piena del T. Pudiga nei pressi della vasca di laminazione di Senago

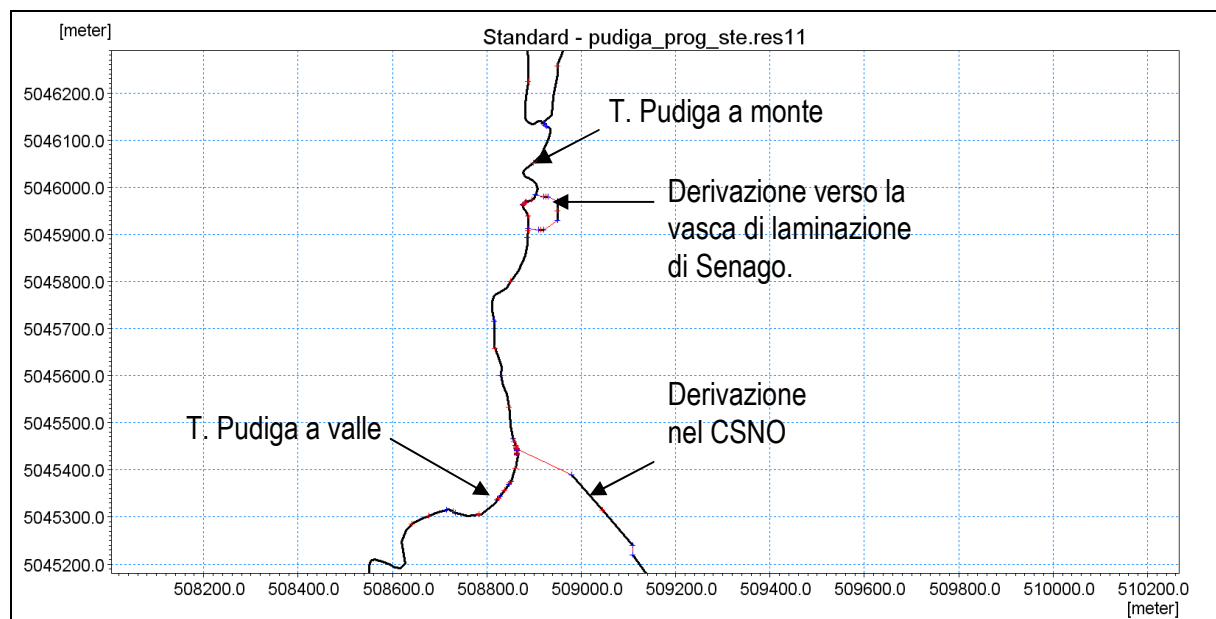


Figura 31 – Schema del modello di calcolo del T. Pudiga nei pressi della derivazione verso la vasca di laminazione di Senago e dell'opera di scollo nel CSNO

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.: 	<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>		Consulenti: <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 e 500 anni).

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

Il terzo settore dell'invaso viene alimentato dal secondo settore attraverso i seguenti manufatti collegati in serie: n. 1 soglia di sfioro, pozzo di caduta e sollevamento, n. 2 condotte circolari (che sotto passano il CSNO). I suddetti manufatti devono essere dimensionati per una portata pari a circa $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (in realtà $58 \text{ m}^3/\text{s}$).

Nel capitolo successivo vengono descritti i dimensionamenti idraulici, a livello di progetto

preliminare, di ciascuna opera facente parte del sistema idraulico della vasca di laminazione di Senago.

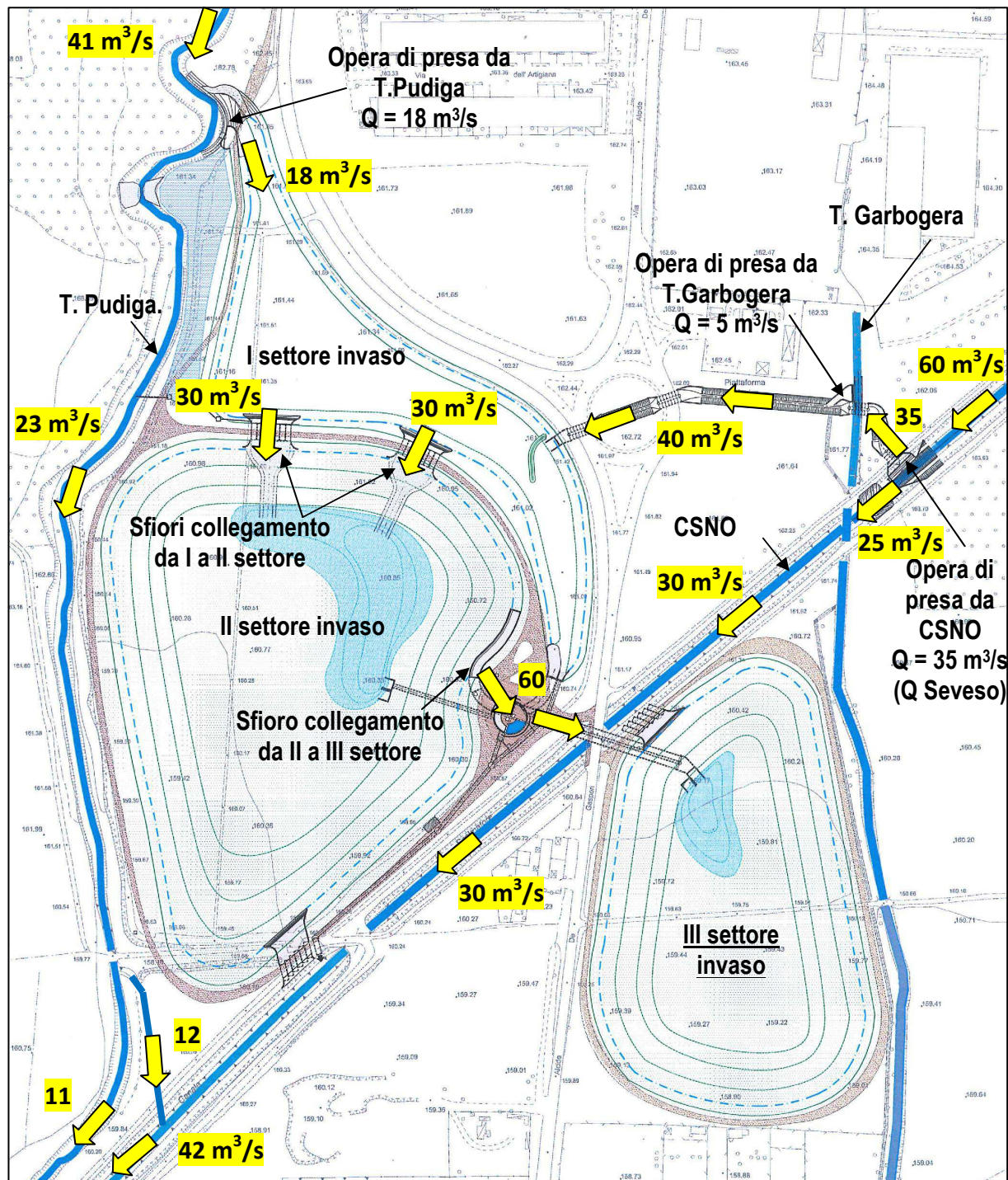


Figura 32 – Schema planimetrico del sistema idraulico della vasca di laminazione di Senago

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, pari a circa 1'000'000 m³ (più precisamente 970'000 m³).

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 1 – 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	>970'000 m ³	>970'000 m ³	>970'000 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 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 (970'000 m³), oppure inferiore (830'000 m³ per T =100 anni) se si vuole lasciare del volume a disposizione della laminazione dei torrenti Pudiga e Garbogera, considerando l'eventuale contemporaneità degli eventi di piena.

6. DIMENSIONAMENTO DI MASSIMA DEL SISTEMA IDRAULICO

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 circa 1'000'000 m³ (più precisamente pari a 970'000 m³). I volumi di laminazione dei singoli settori sono rispettivamente 50'000 m³, 580'000 m³ e 340'000 m³. 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 tirante pari a 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 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 preliminari effettuati per le diverse opere che costituiscono il sistema idraulico della vasca di laminazione in progetto.

6.2 OPERA DI LAMINAZIONE

L'opera di laminazione, come già detto in precedenza, è caratterizzata da un volume di laminazione utile complessivo pari a 970'000 m³, suddiviso in n. 3 settori in serie, caratterizzati dai seguenti volumi:

- I settore: 50'000 m³;
- II settore: 580'000 m³;
- III settore: 340'000 m³

Nella Tabella 2 sono riportate le principali caratteristiche geometriche di ciascun settore che compone l'opera di laminazione in progetto e nella Figura 33 è riportata la planimetria dell'invaso con indicate le principali opere idrauliche.

Tabella 2 – Caratteristiche della vasca 1 e 2

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]	Superficie alla quota di fondo [m ²]
Vasca 1	50'000	155.5	159.0	161.8	19'500	14'400
Vasca 2	580'000	146.0	159.0	161.8	59'000	29'000
Vasca 3	340'000	146.0	159.0	161.8	35'000	14'500
Totale	970'000	-	-	-	113'500	57'900

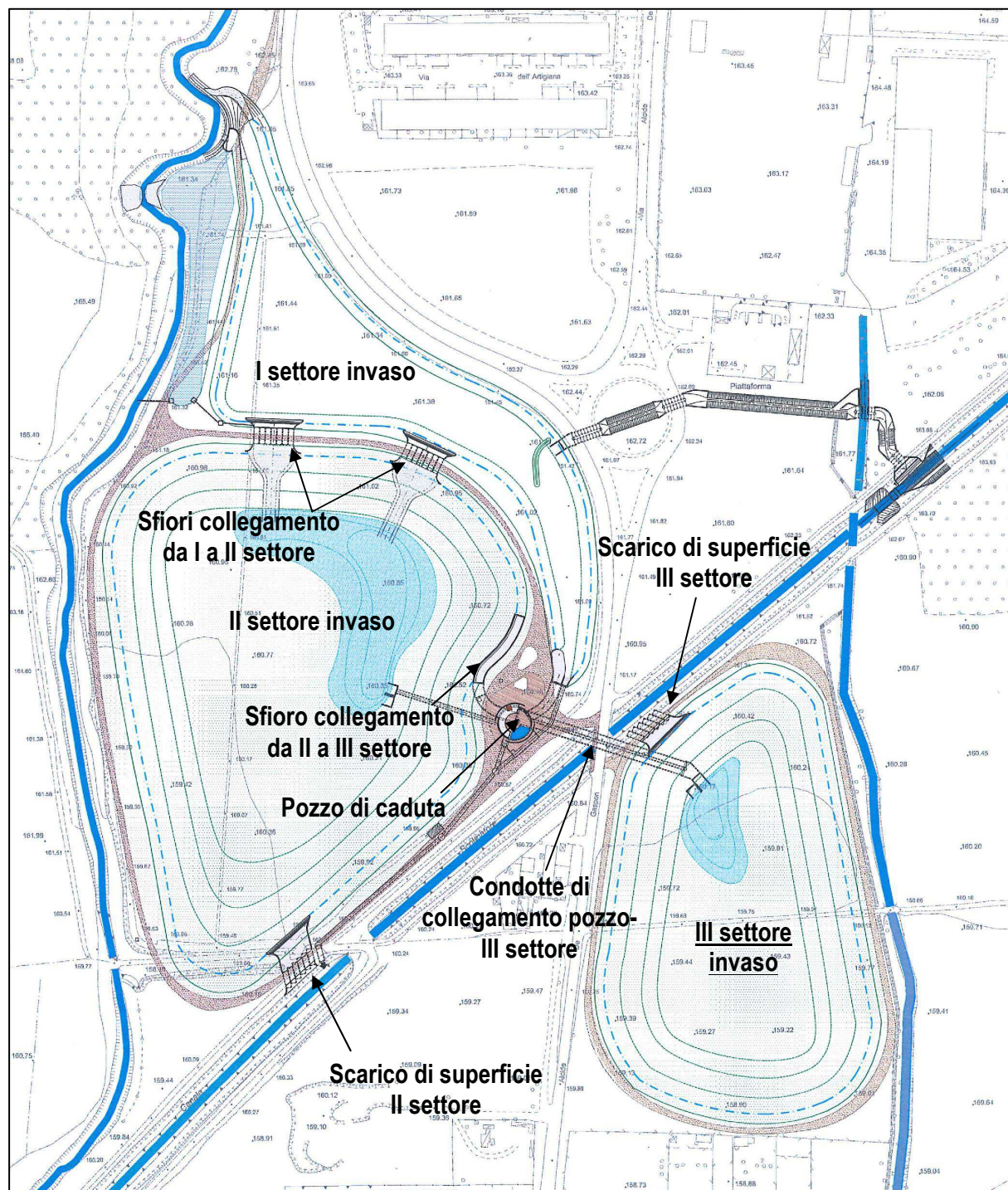


Figura 33 – Planimetria della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere idrauliche di collegamento tra i diversi settori di invaso

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 = $35 \text{ m}^3/\text{s}$;

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.

Di seguito vengono presentati i calcoli preliminari per la definizione delle principali caratteristiche delle opere idrauliche.

6.2.1 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, dove è previsto un laghetto permanente.

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.

6.2.2 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;
- 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.

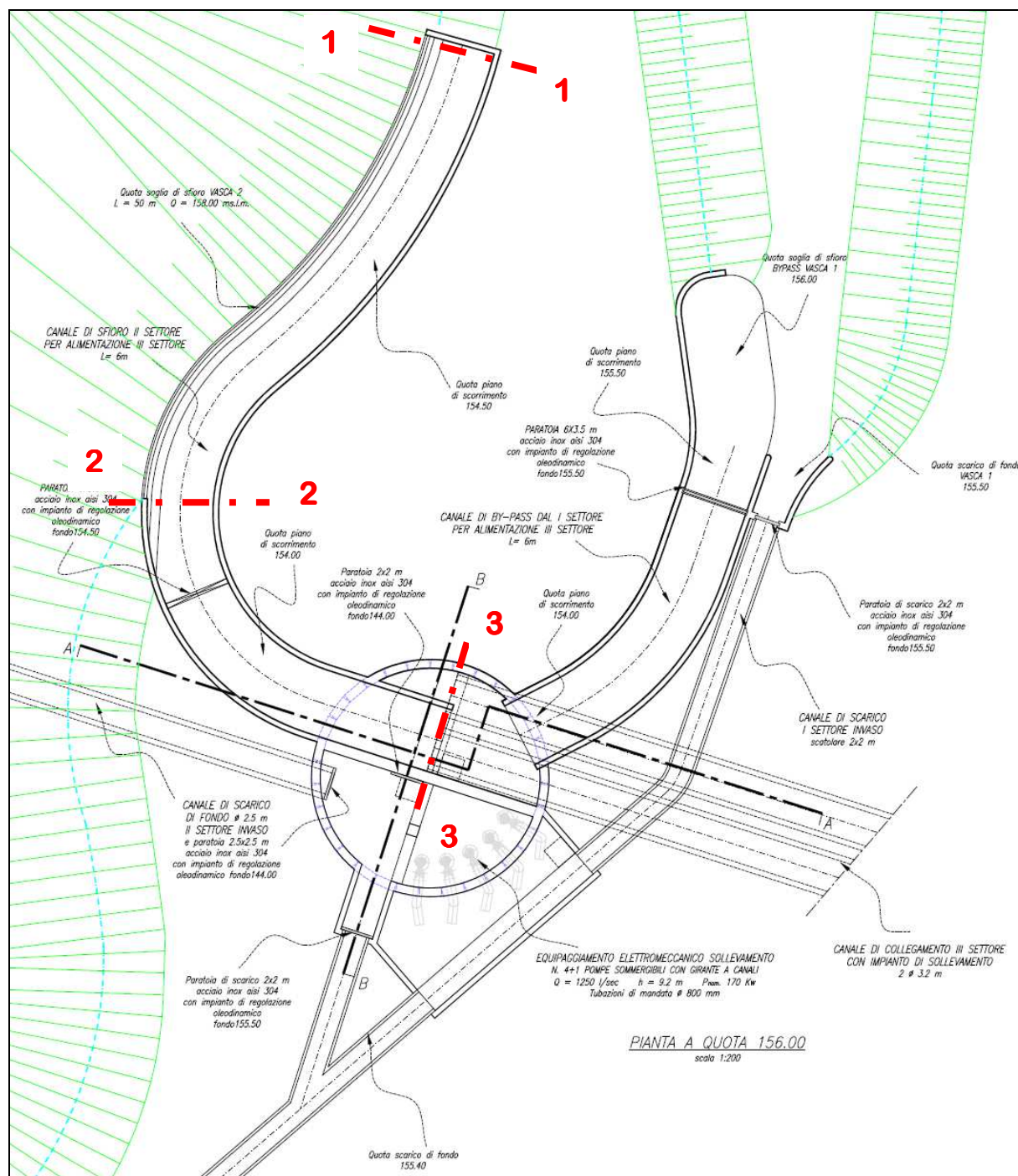


Figura 34 – Planimetria della soglia di sfioro e del canale di gronda

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

70 m^{1/3}/s.

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 144 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.

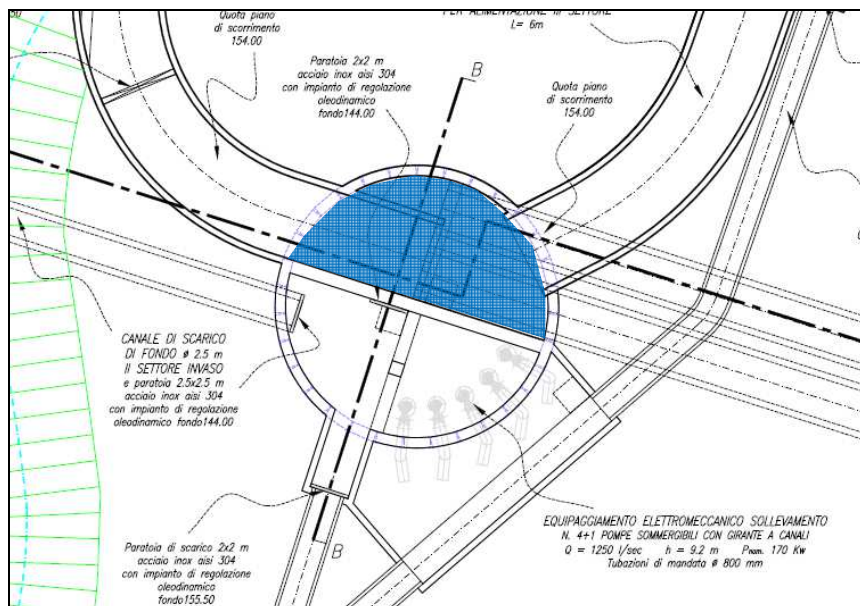


Figura 35 – Sezione trasversale del pozzo con indicazione del settore che svolge funzione di collegamento tra il secondo e il terzo settore (area azzurra)

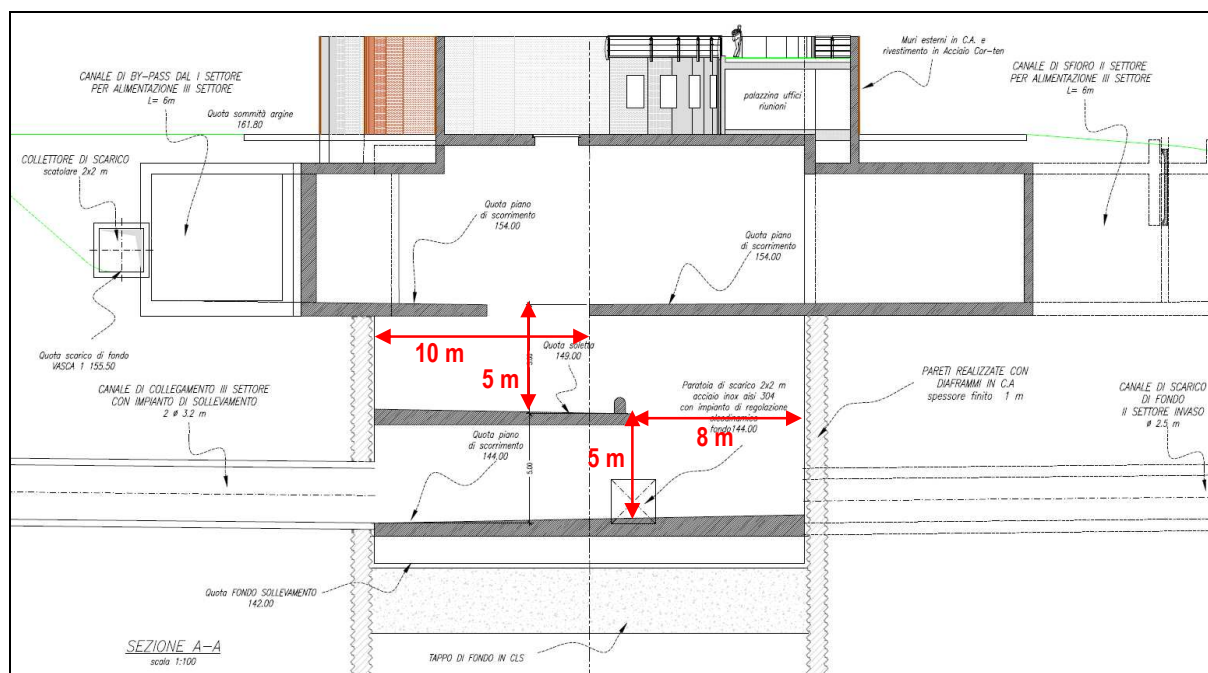


Figura 36 – Sezione longitudinale pozzo dissipatore

Il pozzo in oggetto presenta setti orizzontali contrapposti rompighetto che producono la necessaria dissipazione dell'energia.

Per il dimensionamento dei salti di fondo occorre 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.

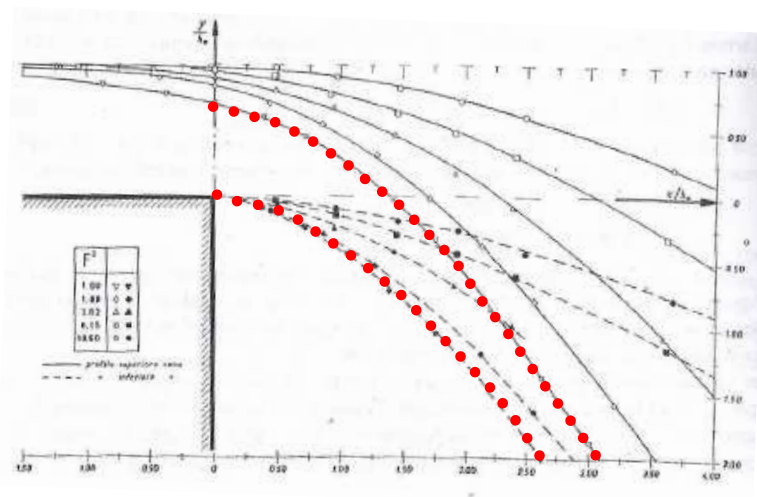


Figura 37 – Profili delle vene in caduta libera da canale rettangolare rilevati nel piano di simmetria [Rouse, 1943]¹

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

La lunghezza della luce del salto deve essere superiore a 1.5 volte l'altezza di stato critico, al fine di consentire il deflusso a pelo libero della vena superiore; il valore limite è quindi pari a 3.3 m. Nel pozzo in progetto la lunghezza della luce del salto è stata posta pari a circa 4.5 m.

L'altezza a cui è posto il primo setto rompitratta è pari a 5 m e quindi la distanza dal salto della vena liquida superiore in corrispondenza del setto è pari a circa 3 volte l'altezza di stato critico, ossia pari a 6.6 m; nel pozzo in progetto la distanza tra il salto e la parete verticale del pozzo è pari a circa 10 m, per cui la vena liquida superiore cade sul setto rompitratta.

Analoghe considerazioni valgono per il secondo salto (dal setto rompitratta al fondo del pozzo).

Nei due salti la caduta avviene inizialmente in condizioni libere fino a quando il livello nel terzo settore dell'invaso non comincia a salire. Durante la fase di invaso del terzo settore il livello idrico cresce anche all'interno del pozzo e la portata comincia a defluire in condizioni rigurgitate, fino al completo riempimento dell'invaso.

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

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

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 144 m s.m. in corrispondenza del pozzo, mentre in corrispondenza del terzo settore dell'invaso la quota di fondo è pari a 145 m s.m. (1 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 (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 (v. par. 2.3.1).

6.2.3 Scarichi di superficie del II e III settore

L'invaso di laminazione di Senago, come ogni invaso artificiale, è provvisto di opere di scarico superficiale, indipendenti dalle opere che consentono il normale funzionamento dell'opera, tali da garantirne la sicurezza di funzionamento.

La funzione di queste opere di scarico è quella smaltire le portate in ingresso da monte che eccedano quelle invasabili.

Siccome l'invaso in oggetto è in parte ottenuto attraverso la realizzazione di un'opera di contenimento in materiali sciolti (argine perimetrale di altezza variabile, rispetto al piano campagna, tra 0 e 3.3 m per contenere il livello idrico in condizioni di attivazione dello

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

scarico di superficie con adeguati franchi di sicurezza), la normativa prescrive che attraverso lo scarico di superficie deve essere evacuata l'intera portata di piena.

Secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale” (l'invaso in progetto rientra in quelli di competenza regionale essendo il volume di vaso minore di 1'000'000 m³ ed essendo l'altezza massima degli argini perimetrali di contenimento dell'invaso inferiore a 15 m), la portata di piena di progetto degli scarichi di superficie deve essere pari a:

- portata naturale di piena del bacino sotteso dallo sbarramento, valutata con riferimento ad un tempo di ritorno non inferiore a 100 anni ($T \geq 100$) per gli sbarramenti con altezza fino a 10 m e che diano luogo a volumi totali di vaso fino a 100.000 m³, e con riferimento ad un tempo di ritorno non inferiore a 500 anni ($T \geq 500$) per gli sbarramenti con altezza superiore a 10 m (e fino a 15 m) o che diano luogo a volumi totali di vaso superiori a 100.000 m³ (e fino ad 1.000.000 m³);
- portata massima entrante nell'invaso dalle eventuali opere idrauliche in esso affluenti (canali di gronda, ecc.);
- l'eventuale effetto di laminazione svolto dall'invaso non deve essere messo in conto ai fini della determinazione della detta portata di progetto, eccetto che per gli invasi realizzati appositamente per la laminazione delle piene (come in questo caso).

Nel caso in oggetto, la portata afferente all'invaso di laminazione è pari alla sommatoria delle portate massime entranti dalle opere idrauliche, cioè dalle n. 3 opere di presa (CSNO, T. Garbogera e T. Pudiga), mentre non c'è un apporto diretto di portata naturale.

Considerando i seguenti contributi in termini di portata massima entrante in funzione delle opere idrauliche, pari a:

- 35 m³/s provenienti dal CSNO;
- 7 m³/s provenienti dal T. Garbogera ($T=500$ anni);
- 20 m³/s provenienti dal T. Pudiga ($T=500$ anni),

si ha che la portata di dimensionamento dello scarico di superficie è pari a 62 m³/s (trascurando, cautelativamente, in questa fase progettuale l'effetto di laminazione).

Considerando che il secondo e il terzo settore sono separati e che potrebbe accadere che sia in funzione solo uno dei due, ipotizzando l'altro in manutenzione, occorre prevedere per ciascun

settore uno scaricatore di superficie in grado di smaltire l'intera portata determinata in precedenza.

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, pari a 62 m³/s;
- 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].

Volendo limitare l'altezza del pelo libero al di sopra della soglia a 1,0 m, si ha che la larghezza della soglia sfiorante è pari a 30 m.

In relazione al livello idrico che si instaura all'interno del secondo settore dell'invaso durante il deflusso della portata di 60 m³/s, pari a 158.7 m s.m. e del livello di piena presente nel CSNO in corrispondenza dello scaricatore di superficie del III settore, pari a circa 159.10 per $Q=30$ m³/s (25 m³/s a valle dello sfioro del CSNO nell'invaso di Senago + 5 m³/s di sfioro del T. Garbogera nel CSNO), sono state scelte le seguenti quote delle soglie di sfioro:




- scarico di superficie del II settore: 159.00 m s.m.
- scarico di superficie del III settore: 159.50 m s.m.

Considerando la quota più alta e sommando l'altezza idrica che si instaura al di sopra della soglia dello scarico di superficie, pari a 1 m, si ha che la quota di massimo invaso è pari a 160.50 m s.m..

6.2.4 Determinazione della quota di coronamento delle arginature perimetrali

In base a quanto indicato nel paragrafo precedente, il livello di massimo invaso è pari a 160.50 m s.m.. Secondo quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “*Direttiva per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale*”, siccome l'opera in oggetto presenta delle arginature perimetrali in materiali sciolti di altezza inferiore a 10 m e la lunghezza libera dell'invaso è inferiore a 1 km, il franco di sicurezza deve essere almeno pari ad 1 m.

Pertanto la quota di coronamento delle arginature perimetrali deve essere almeno pari a

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

161.50 m s.m.. In relazione al fatto che durante il funzionamento dello scarico di superficie il livello nel CSNO potrebbe raggiungere valori tali da rigurgitare le soglie di sfioro, si è deciso di porre la quota di coronamento a 161.80 m s.m..

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 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a $35 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il CSNO in corrispondenza del manufatto di sfioro è caratterizzato da una sezione trapezia in c.a. (scabrezza di Strickler pari a $70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$), 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 Creger-Scimemi), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

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

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

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

in cui:

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

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

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

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

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

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

Si sono così determinate le seguenti grandezze:

- sezione del restringimento del 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:
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 di gronda a monte dello sfioratore: 60,0 m³/s;
- portata del canale di gronda a valle dello sfioratore: 25,0 m³/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 39).

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



Figura 38 – Vasca di dissipazione esistente a valle del salto ove a monte è prevista la realizzazione dell'opera di presa dal CSNO

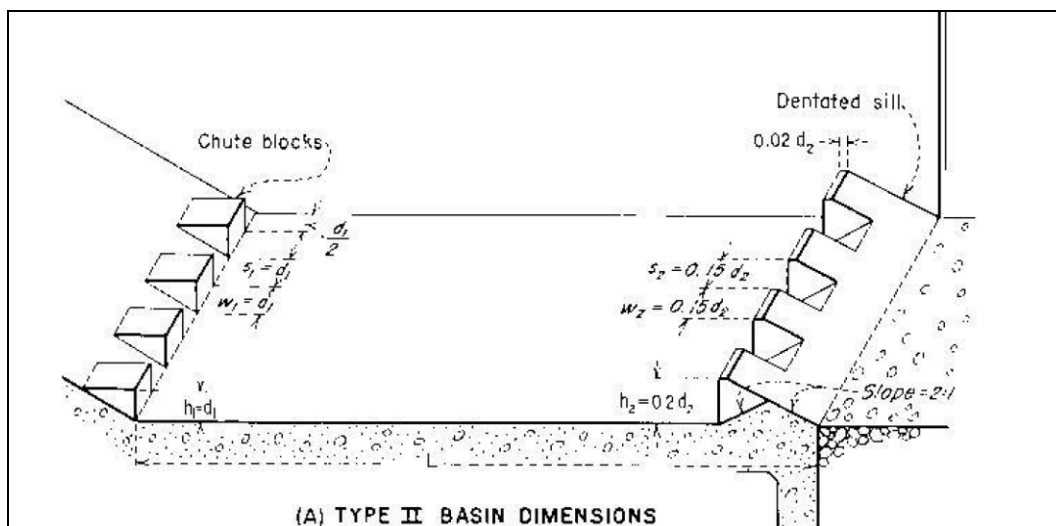


Figura 39 – Opere di dissipazione a vasca – USBR tipo II

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 Creger-Scimemi), deriva dalla risoluzione delle seguenti equazioni:

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

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

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

in cui:

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

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

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

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

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

Q_{valle} è la portata a valle dello sfioratore [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 del canale di gronda: 0,9 m;
- lunghezza della soglia sfiorante: 10,0 m;
- portata del canale di gronda a monte dello sfioratore: 11,8 m^3/s ;
- portata del canale di gronda a valle dello sfioratore: 7,5 m^3/s
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore: 1,15 m.

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 m^3/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 m^3/s .



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

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 $41 \text{ m}^3/\text{s}$, la portata sfiorata verso l'invaso di laminazione sia pari a $18 \text{ m}^3/\text{s}$.

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:

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

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

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

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. 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 del canale di gronda:

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

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

- lunghezza della soglia sfiorante: 20,0 m;
- portata del canale di gronda a monte dello sfioratore: 41,0 m³/s;
- portata del canale di gronda a valle dello sfioratore: 23,0 m³/s
- altezza della corrente lenta a monte dello sfioratore: 1,7 m.

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 m³/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 m³/s.



Figura 41 – 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.

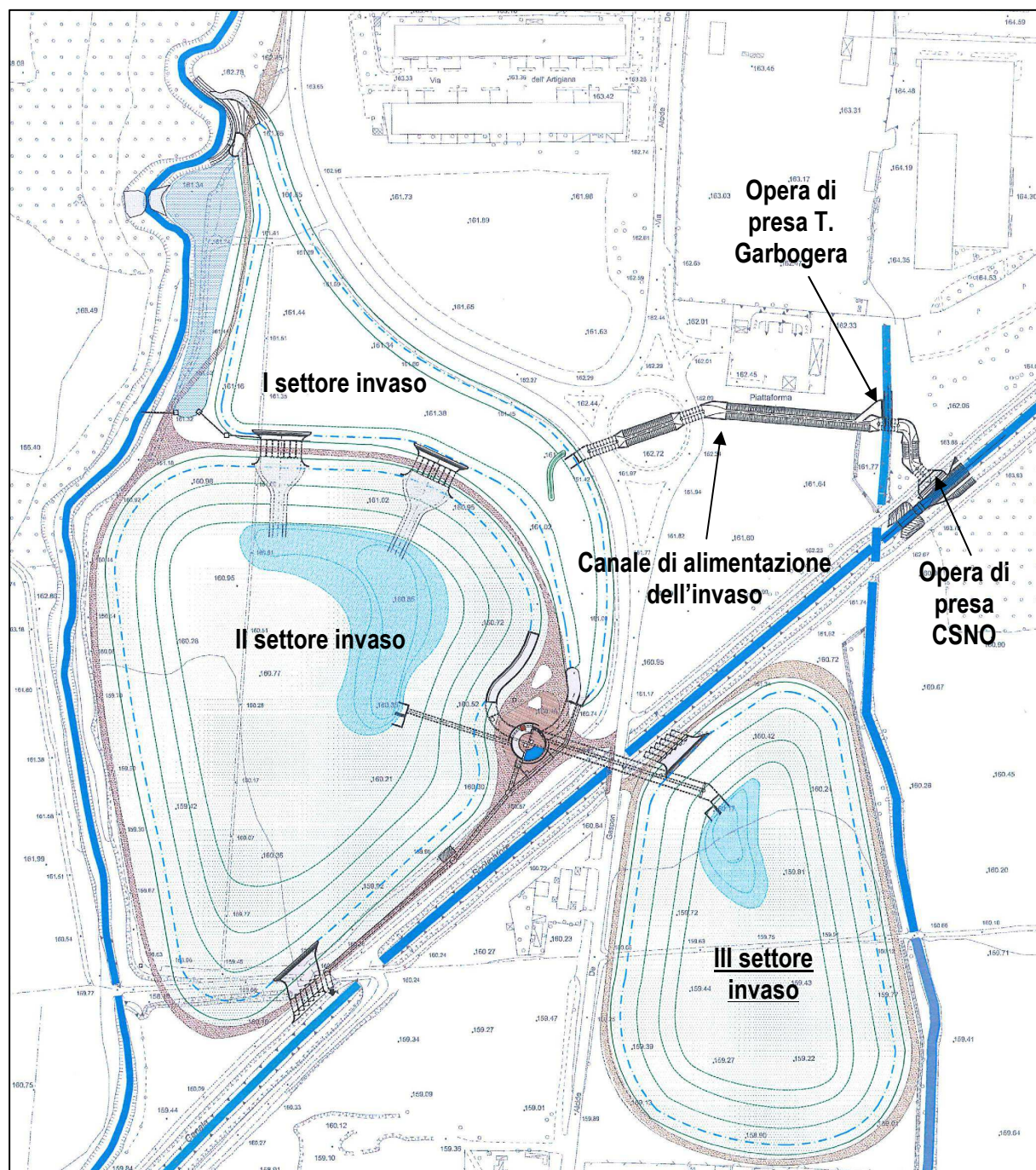


Figura 42 – Planimetria della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere idrauliche di alimentazione del primo settore di invaso

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.: 	Studio Associato di <i>Geologia Spada</i>		Consulenti: <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.: 	Studio Associato di Geologia Spada	Consulenti: 	Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	---	------------------------------

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

6.5 SISTEMA DI SCARICO DELL'INVASO

Lo svuotamento dell'invaso di Senago avviene scaricando la portata nel CSNO.

Le modalità di scarico sono differenti a seconda del settore considerato, in particolare:

- *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 146.0 m s.m.). Il volume che può essere scaricato a gravità è pari a circa 160'000 m³ (28% del volume di invaso del II settore), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 420'000 m³ (72% del volume di invaso del II settore)
- *III 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 146.0 m s.m.). Il volume che può essere scaricato a gravità è pari a circa 95'000 m³ (28% del volume di invaso del III settore), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 245'000 m³ (72% 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 305'000 m³ (31% del volume di invaso totale), mentre quello che deve essere scaricato per sollevamento è pari a circa 665'000 m³ (69% del volume di invaso totale).

Per stabilire la portata di svuotamento dell'invaso, si è fatto riferimento a quanto indicato nel D.G.R. del 5 marzo 2001 n. 7/3699 – “Direttiva per l'applicazione della legge regionale 23 marzo 1998, n. 8 in materia di costruzione, esercizio e vigilanza degli sbarramenti di ritenuta e dei bacini di accumulo di competenza regionale”.

In particolare nel suddetto decreto si afferma che per un invaso di volumetria pari a circa 1'000'000 m³, il tempo di svuotamento non deve essere superiore a 72 ore (3 giorni).

La portata media che consente il rispetto di tale tempo di svuotamento è pari a 3.7 m³/s.

Nel presente progetto si è fissata la portata di scarico dell'invaso in 5 m³/s, che consente di effettuare lo svuotamento dell'intero volume invasato in circa 54 ore (2.2 giorni). Tale scelta è

stata effettuata tenendo in conto della necessità di rendere l'invaso di laminazione nuovamente ricettivo in tempi rapidi, per poter accogliere eventuali eventi di piena tra loro molto ravvicinati.

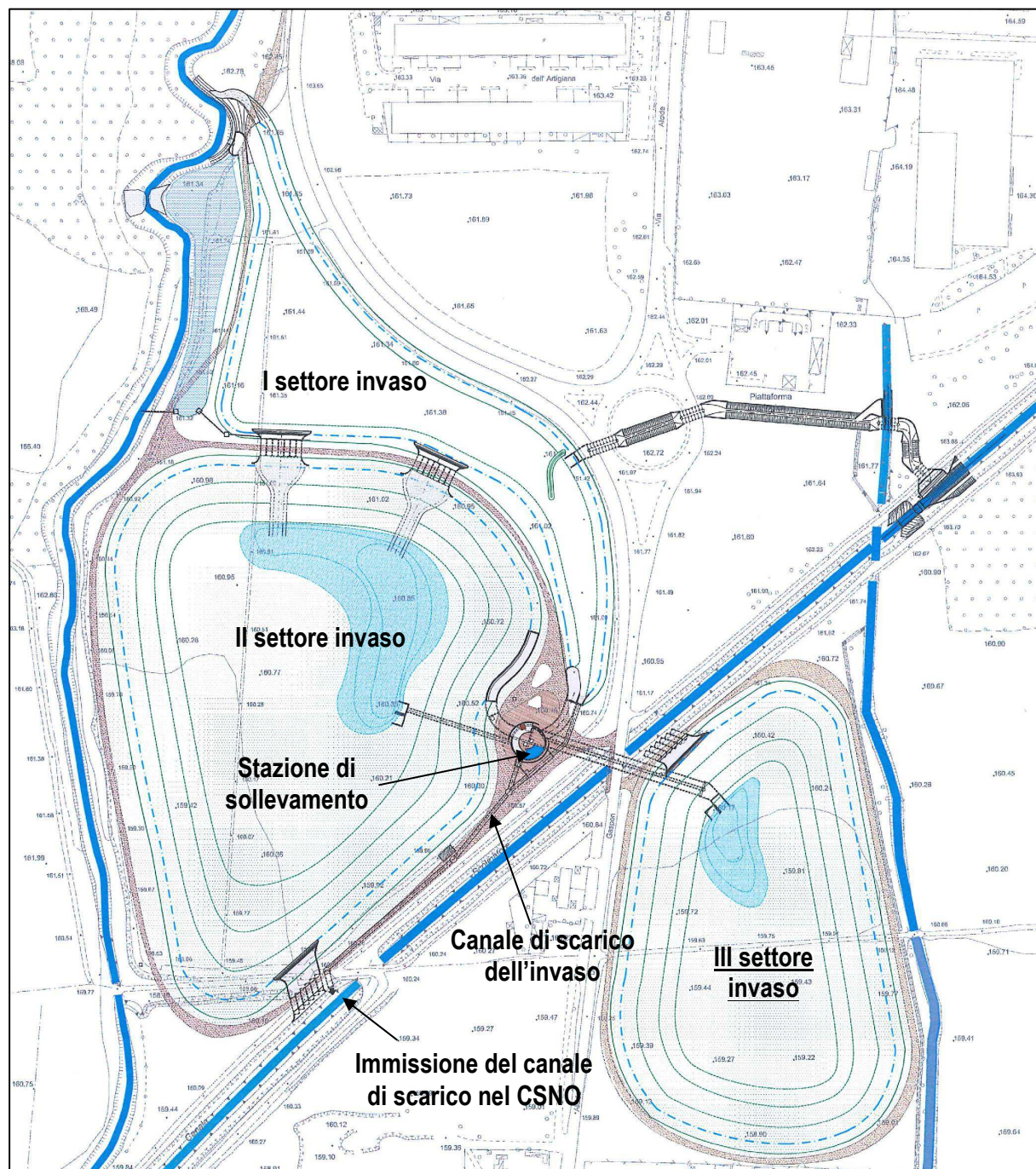


Figura 43 – Planimetria della vasca di laminazione di Senago con indicazione delle opere idrauliche di scarico

Lo scarico del primo settore dell'invaso avviene attraverso un canale in c.a. a sezione scatolare 2x2 m che, a partire dall'estremità sud dell'invaso, corre parallelamente al CSNO fino ad immettersi in quest'ultimo appena a valle del ponticello poderale, in corrispondenza della sezione denominata CN-139, posta immediatamente a valle di un salto, in cui la quota di fondo risulta essere pari a 155.14 m s.m..

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 $5 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a circa 1.6 m.

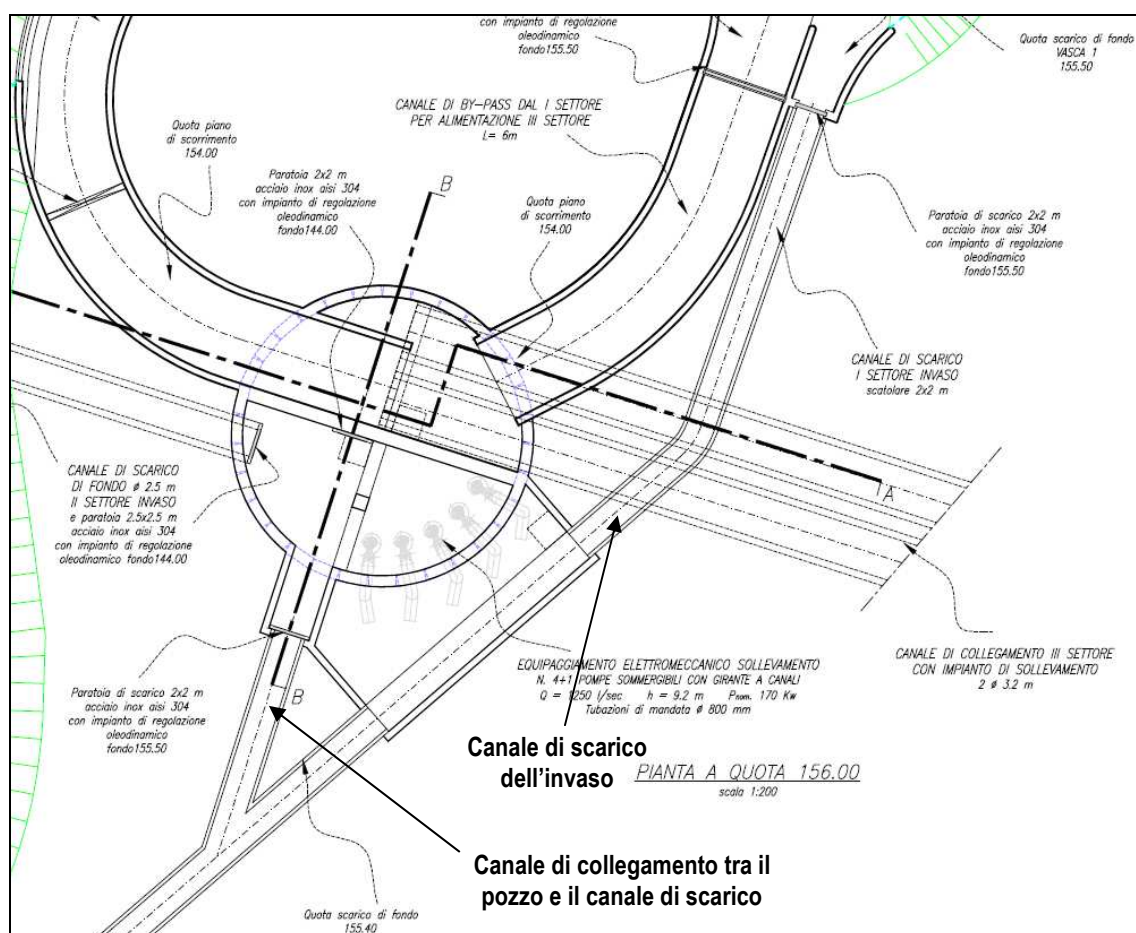


Figura 44 – Planimetria con indicazione delle opere di scarico dell'invaso

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.

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 principali:

- Tipo pompa: elettropompa sommersa monoblocco con girante a canale
- Portata: 1250 l/s (con 4 pompe si sollevano i 5 m³/s previsti)
- Prevalenza: 9.2 m
- Rendimento totale: >72%
- Potenza nominale: 170 kW

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

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

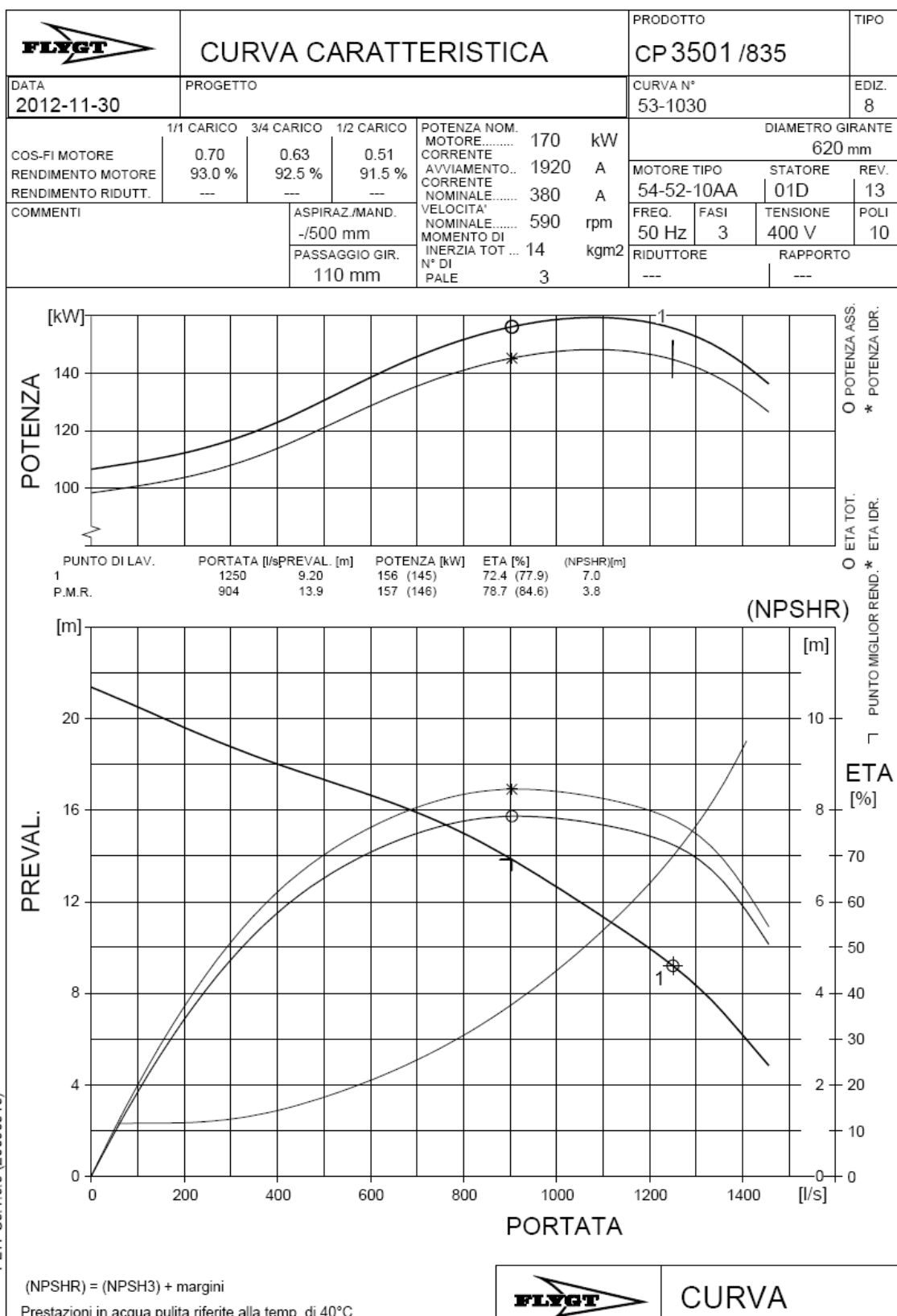





Figura 45 – Curva caratteristica della pompa tipo Flygt

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

In generale, lo scarico avviene solo quando il CSNO è ricettivo e cioè solo quando il suo livello idrico a valle dell'immissione del canale di scarico, in funzione della portata in esso defluente, è minore di un valore prefissato. In attesa di più precise determinazioni in occasione delle successive progettazioni esecutive, tale valore è qui individuato in 155.65 m s.m. (tirante di 0,50 m nel CSNO).

Quando tali condizioni di ricettività del CSNO sono verificate, lo scarico avviene attraverso l'apertura delle paratoie poste all'imbocco del canale di scarico e del tratto di collegamento pozzo/canale di scarico, in modo che possa fuoriuscire a gravità il volume invasato al di sopra della suddetta quota di 155.50 m s.m.. Quando la parte di volume posta al di sopra di tale quota si sta esaurendo, vengono attivate le pompe di sollevamento con autonoma sequenza di attivazione.

7. ANALISI DELLA FREQUENZA DI UTILIZZO E DEGLI EFFETTI INDOTTI IN TERMINI DI RIDUZIONE 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.

7.1 ANALISI EVENTI REALI

L'analisi degli eventi reali è stata effettuata considerando quelli verificatisi negli ultimi anni (2010, 2011 e 2012), 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;
- 2011 (n. 2 esondazioni): 27 maggio, 6 agosto;

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

➤ 2012 (n. 1 esondazione): 12 settembre.

Oltre a tali eventi, sono stati considerati tutti i fenomeni meteorici che hanno indotto un valore di portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di $30 \text{ m}^3/\text{s}$, per i quali 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (oltre tale valore la portata tracima al di sopra della paratoia a settore e prosegue nel T. Seveso).

Si tratta quindi di un campione 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 quello dl 18 settembre 2010 che ha 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, che hanno indotto esondazione a Milano, si è utilizzato il 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 46);

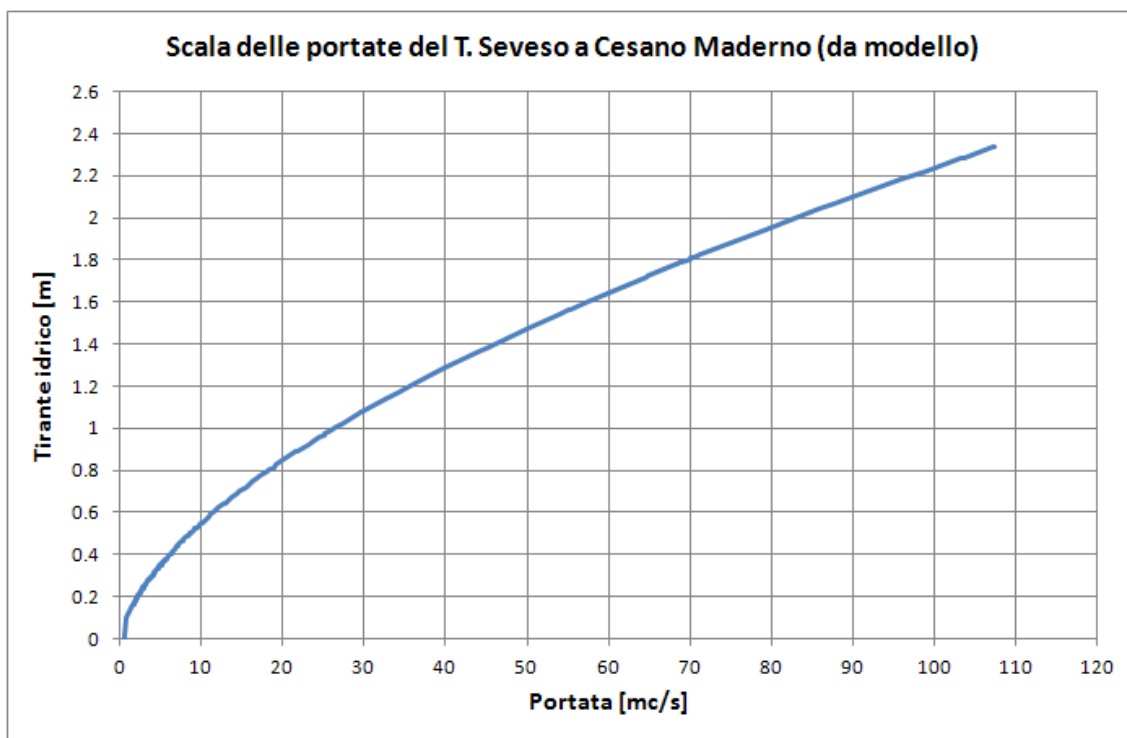


Figura 46 – Scala delle portate del T. Seveso a Cesano Maderno ricavata del modello idraulico dello Studio-AIPo-2011

- 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.781*" di AIPo e della Provincia di Milano ha come obiettivo quello di garantire nel CSNO, appena a valle dello sfioro di alimentazione

della vasca di laminazione di Senago, una portata massima di $25 \text{ m}^3/\text{s}$, 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 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (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 $30 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 $1'000'000 \text{ m}^3$ 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.

Con riferimento agli eventi di piena che hanno indotto esondazioni a Milano, di seguito si riportano le analisi condotte per ciascuno evento, mentre successivamente vengono presi in considerazione tutti gli eventi caratterizzati da una portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di $30 \text{ m}^3/\text{s}$ che, in seguito alla chiusura della paratoia a settore e alla conseguente derivazione nel CSNO, avrebbero potuto interessare la vasca di laminazione di Senago nel periodo 2010÷2012.

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 $30 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre quando il livello idrometrico nel Seveso a Niguarda assume valori prossimi a $2,5\div 3,0 \text{ m}$ significa che sono presenti situazioni di criticità (esondazione o funzionamento in pressione del tratto tombinato del T. Seveso) e pertanto la portata del T. Seveso a Milano è prossima, o superiore, a $40 \text{ m}^3/\text{s}$ (attuale capacità del tratto tombinato del T. Seveso).

7.1.1 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 ($30 \text{ m}^3/\text{s}$ allo stato attuale e $60 \text{ m}^3/\text{s}$ nell'assetto di progetto), l'andamento dei livelli registrati nel CSNO a Senago e del Seveso nel tratto tombinato di via Valfurva.

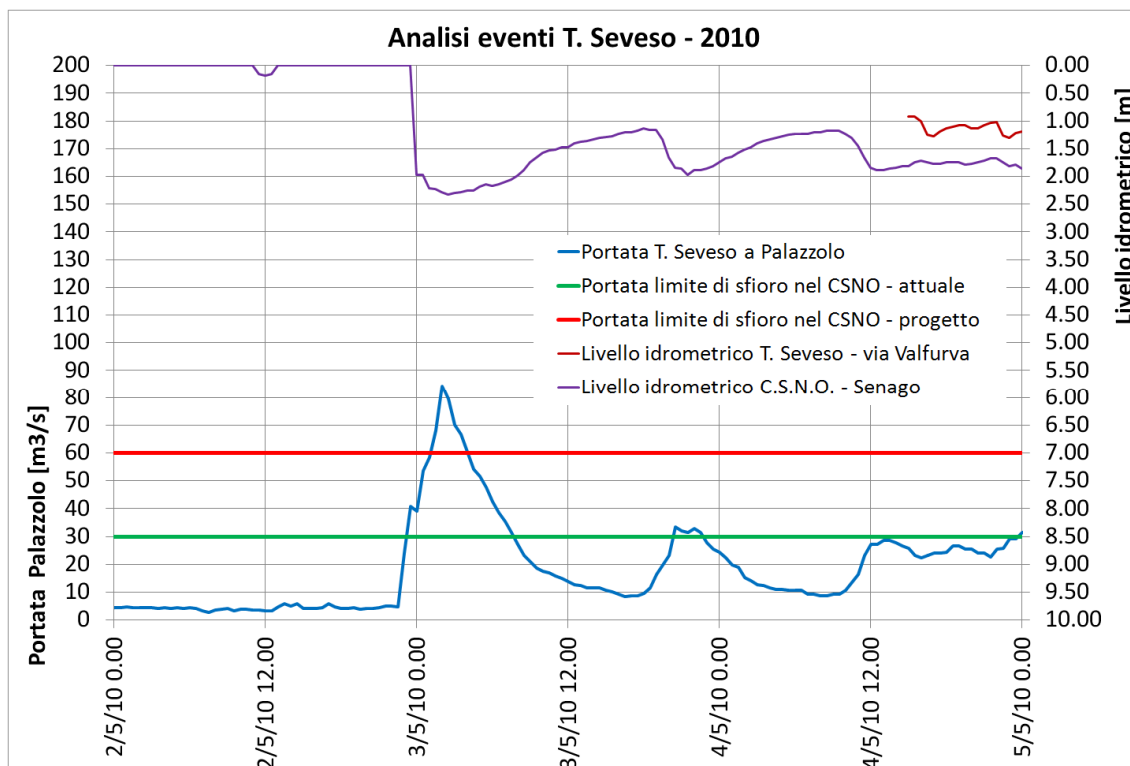


Figura 47 – Analisi evento 3 maggio 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di $30 \text{ m}^3/\text{s}$, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa $55 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore, oltre all'apporto meteorico² del bacino residuo (44 km^2 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 $60 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a circa $600'000 \text{ m}^3$ (minore del volume della vasca 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 $25 \text{ m}^3/\text{s}$.

In questo caso è verosimile ipotizzare che, in presenza della vasca di laminazione di Senago,

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

si sarebbe potuto evitare l'esondazione a Milano, oppure questa sarebbe stata notevolmente attenuata.

7.1.2 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.

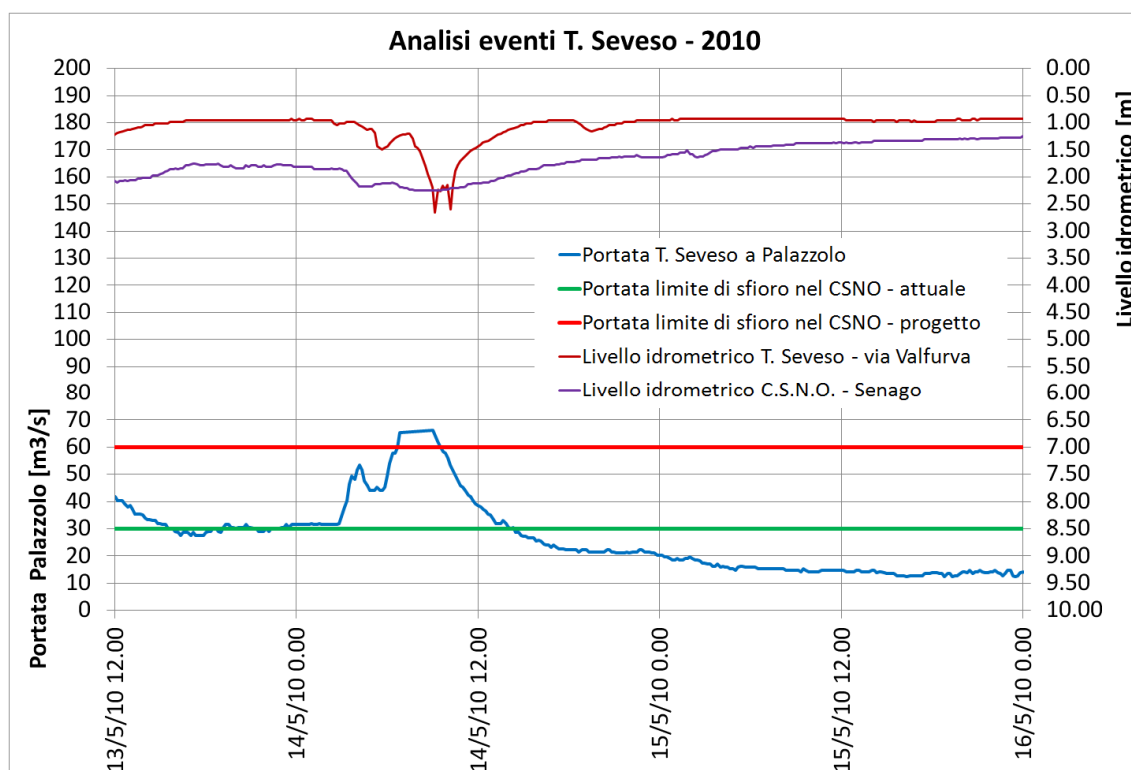


Figura 48 – Analisi evento 14 maggio 2010

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di $30 \text{ m}^3/\text{s}$, deviata nel CSNO, la portata del Seveso a valle dell'opera di presa assume un valore al colmo pari a circa $35 \text{ m}^3/\text{s}$. Tale valore, oltre all'apporto meteorico³ del bacino residuo (44 km^2 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.

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

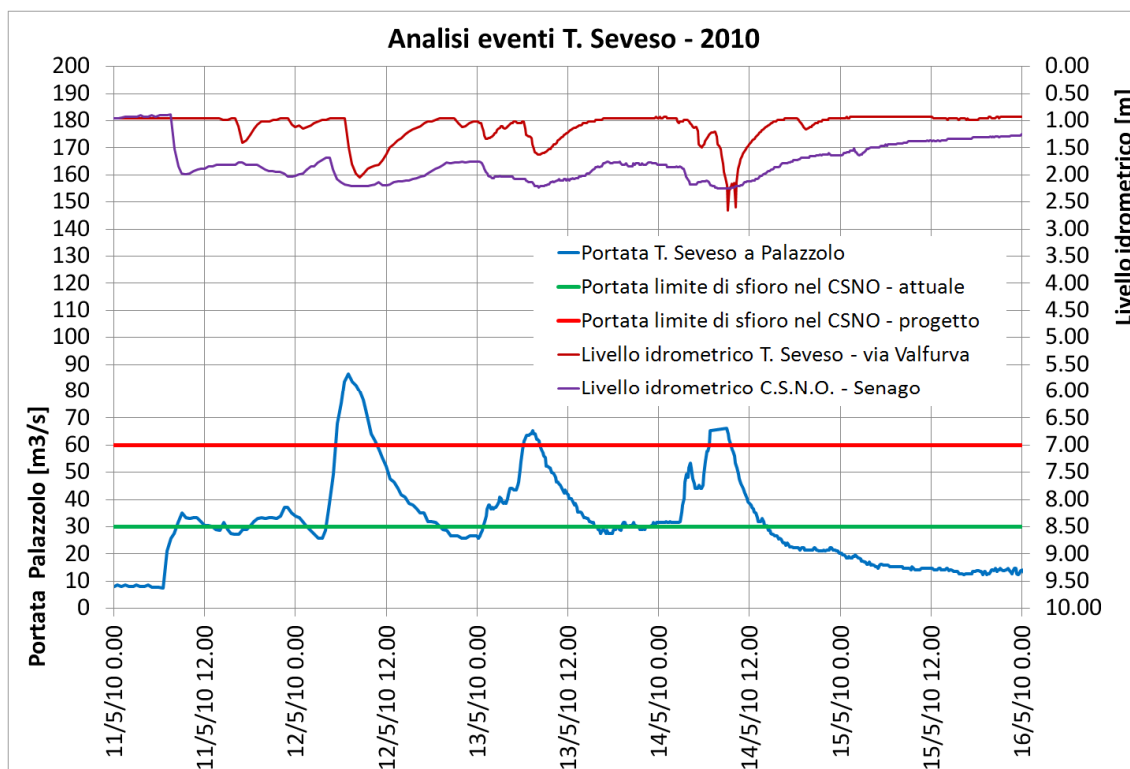


Figura 49 – Analisi eventi 12-14 maggio 2010

7.1.3 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.

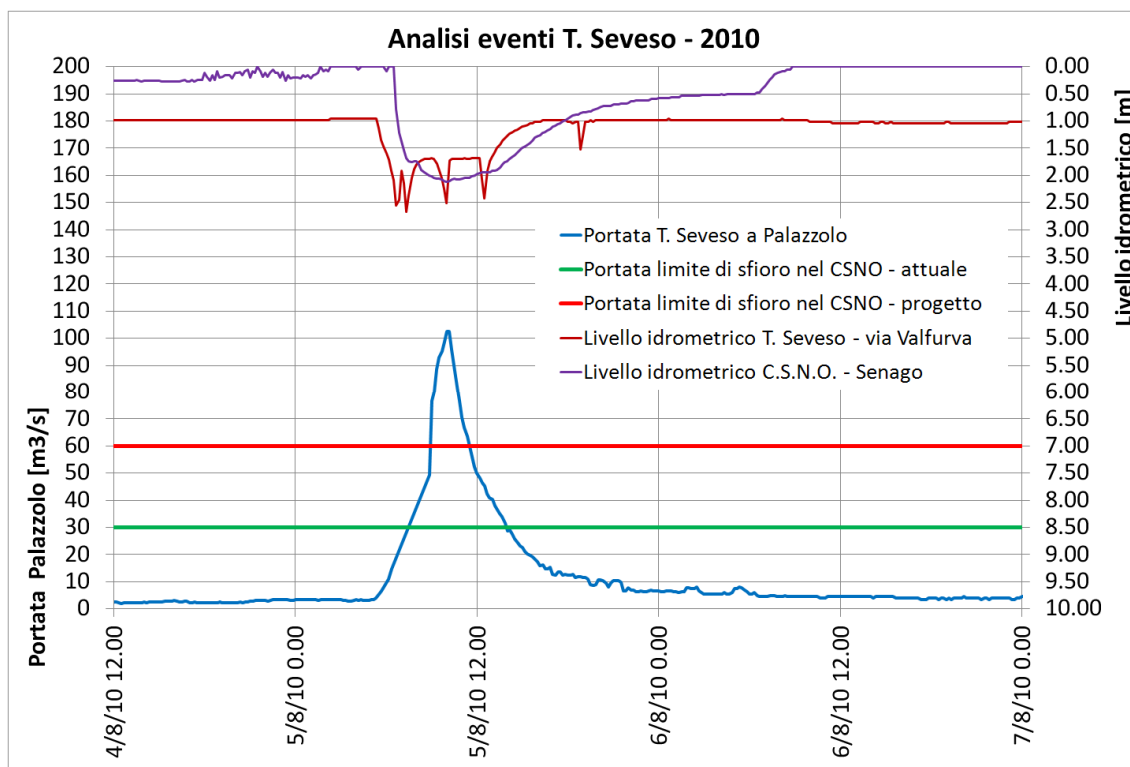


Figura 50 – Analisi evento 5 agosto 2010

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.

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

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.

7.1.4 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.

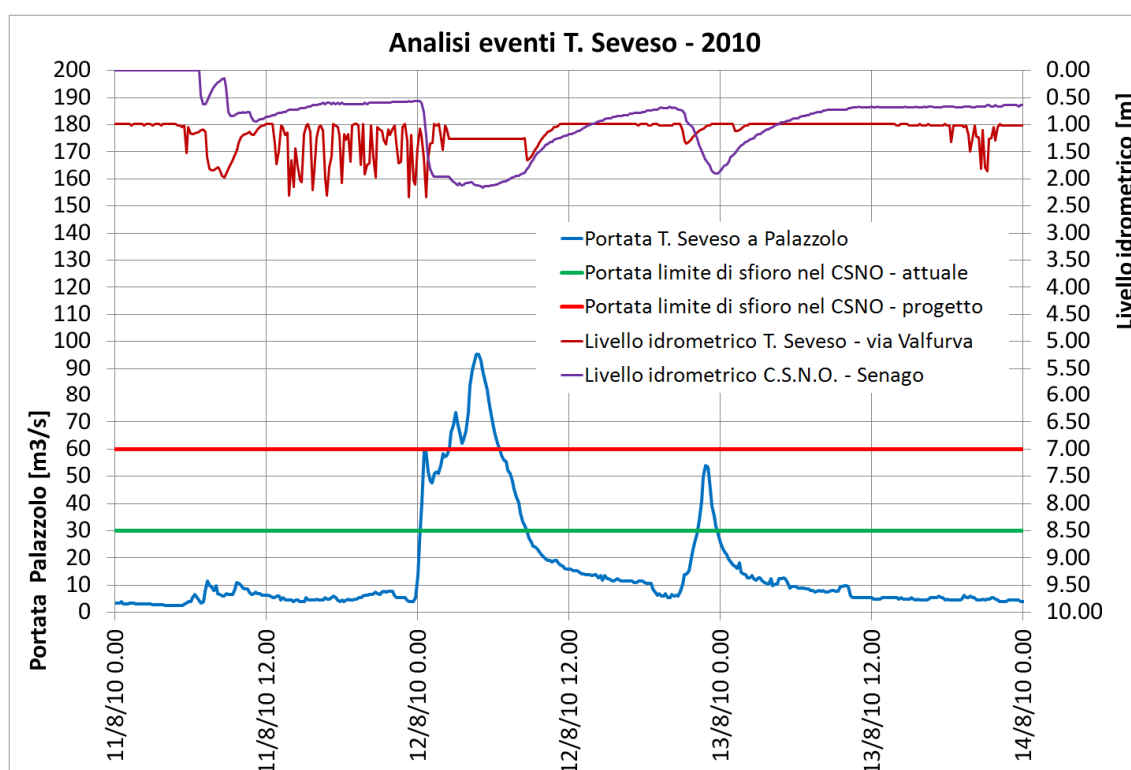


Figura 51 – Analisi evento 12 agosto 2010

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.

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

7.1.5 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.

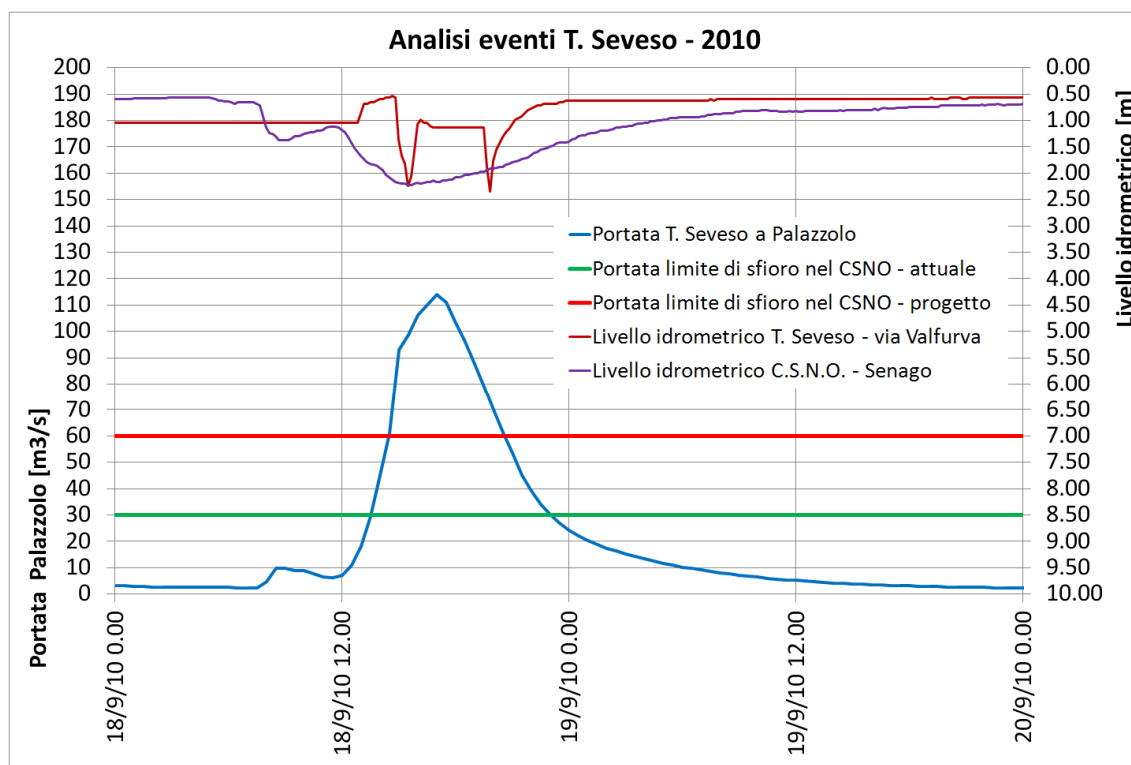


Figura 52 – Analisi evento 18 settembre 2010

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

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

7.1.6 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

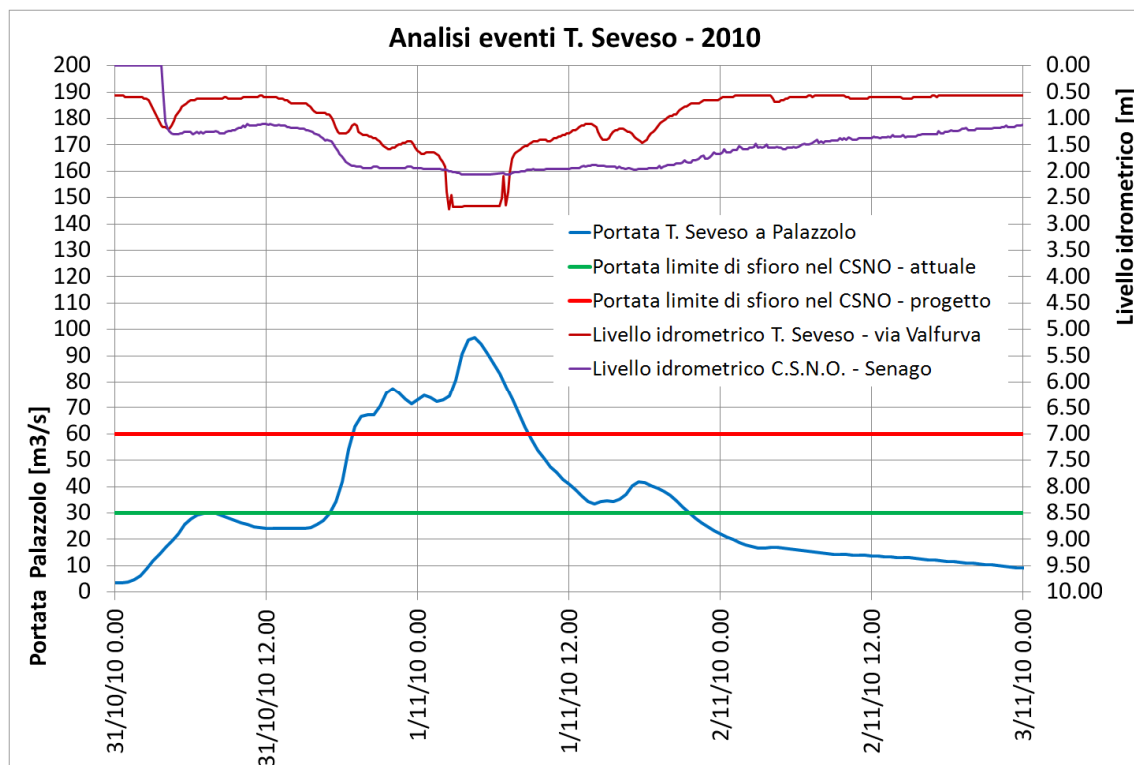


Figura 53 – Analisi evento 1 novembre 2010

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 1'000'000 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.

7.1.7 Analisi evento 16 novembre 2010

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

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

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.

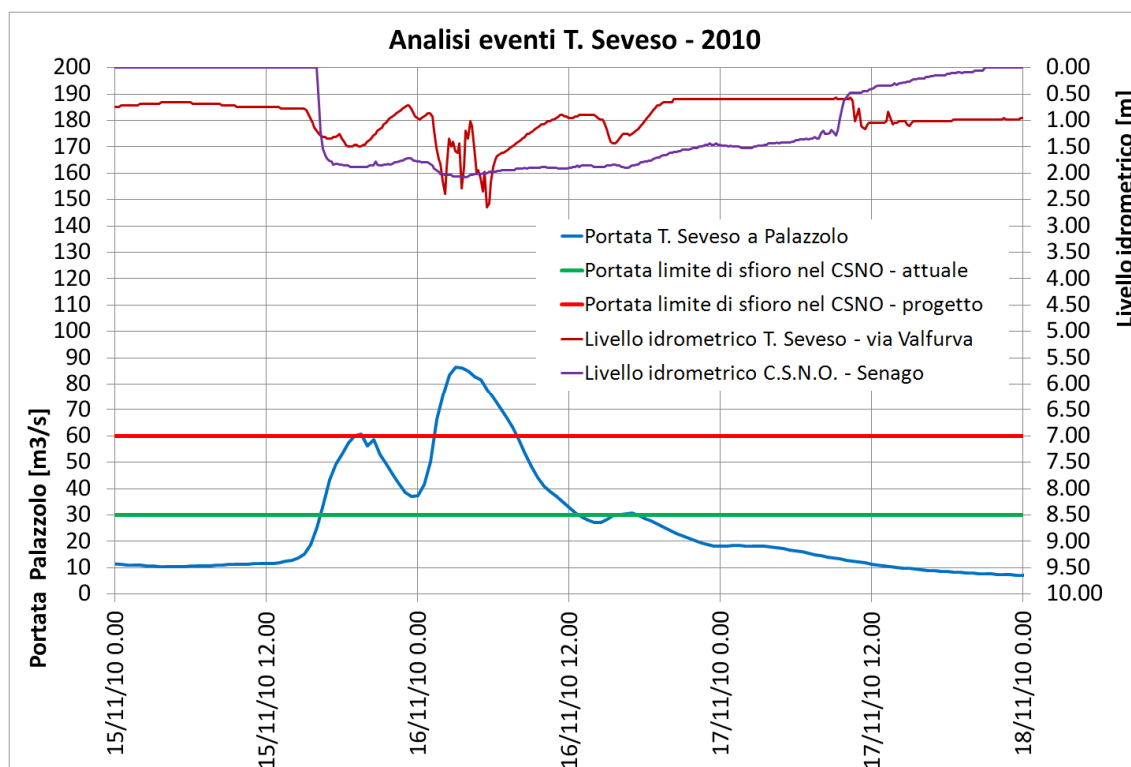


Figura 54 – Analisi evento 16 novembre 2010

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 del volume della vasca di Senago). Il volume di 1'000'000 m³ si sarebbe raggiunto appena dopo il picco, per cui in presenza della vasca di laminazione di Senago la portata al colmo del Seveso a valle dell'opera di presa si sarebbe ridotta attorno a valori di circa 45 m³/s.

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

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.

7.1.8 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.

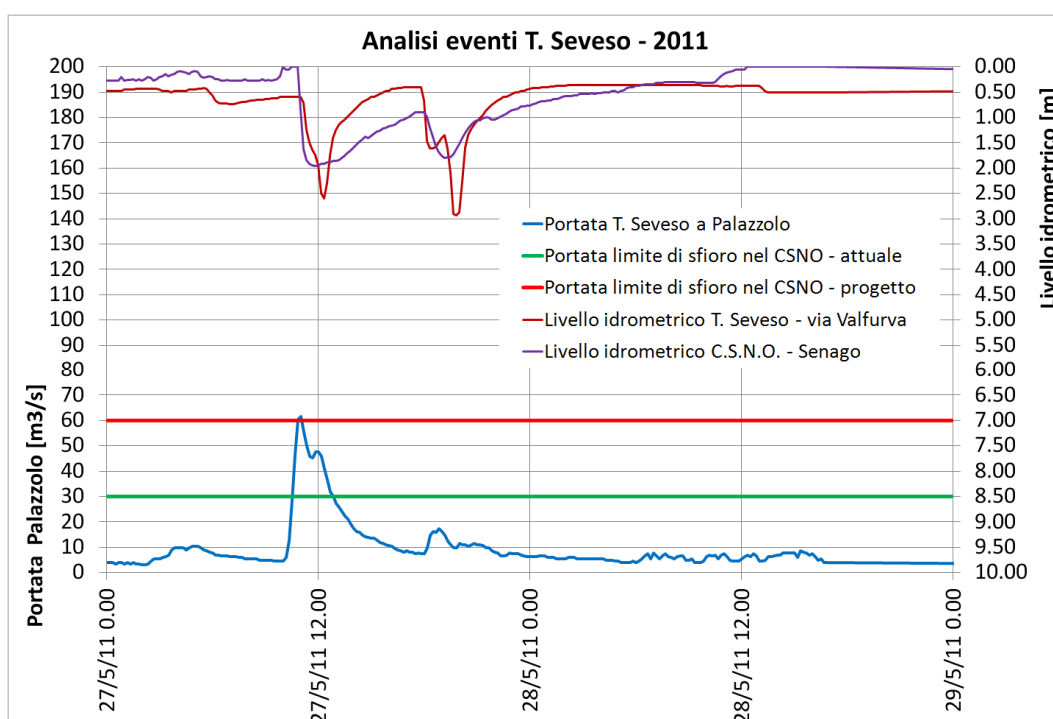


Figura 55 – Analisi evento 27 maggio 2011

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 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

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

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).

7.1.9 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.

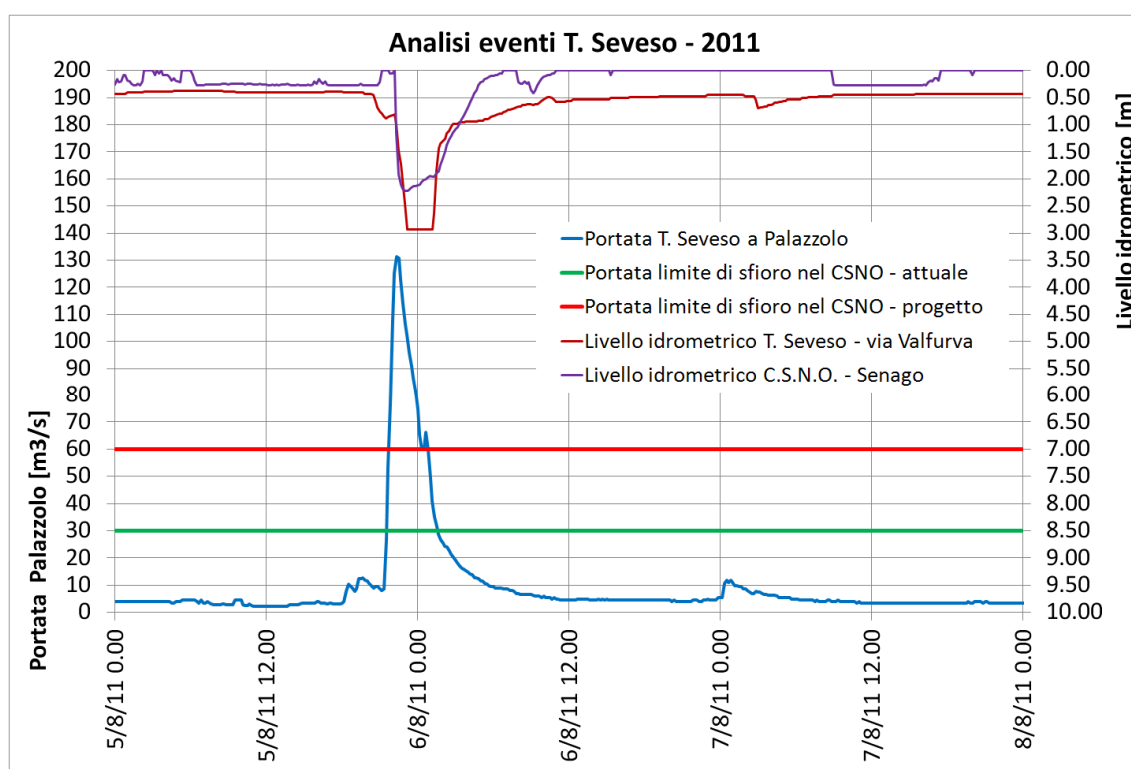


Figura 56 – Analisi evento 6 agosto 2011

Sottraendo dall'idrogramma del T. Seveso a Palazzolo la portata di $30 \text{ m}^3/\text{s}$, deviata nel

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

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.

7.1.10 Analisi evento 12 settembre 2012

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.

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

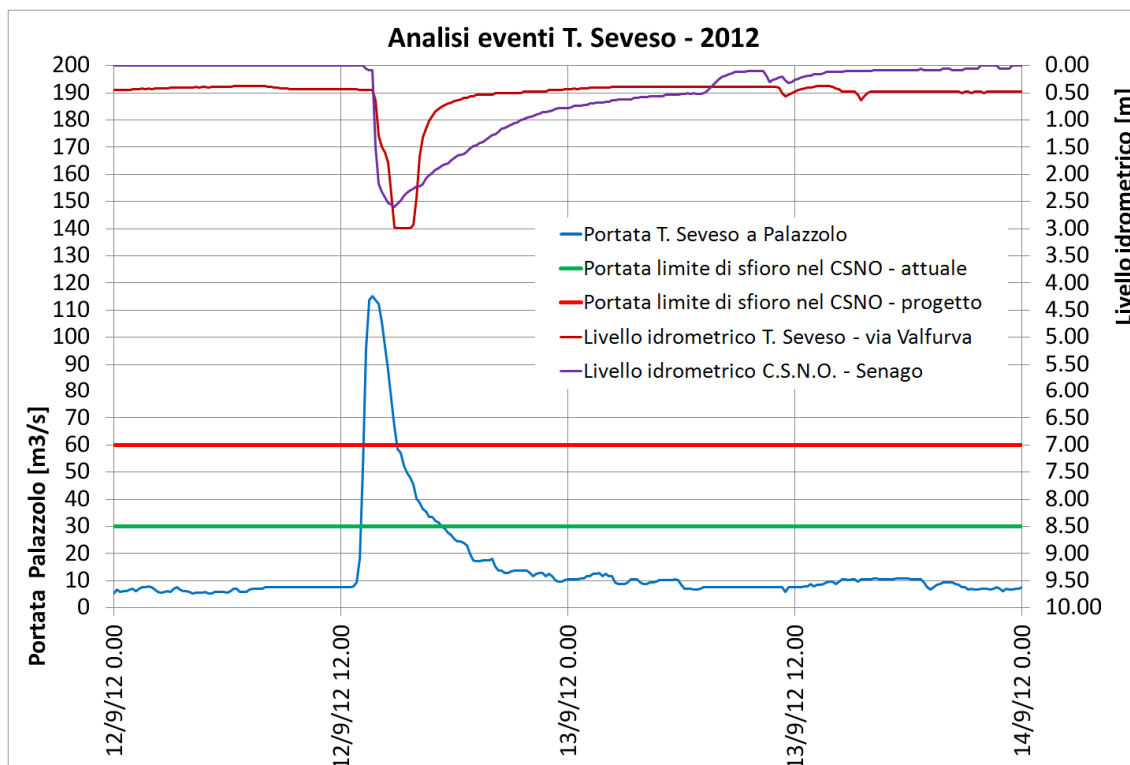


Figura 57 – Analisi evento 12 settembre 2012

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

7.1.11 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 3:

Tabella 3 – Sintesi dell'analisi degli eventi di piena che hanno causato esondazione a Milano nel periodo 2010-2012

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 laminazione a Senago ridotta a metà	con laminazione a Senago e a Paderno D.
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	1'000'000	35	SI	SI	NO
23/7/10									
5/8/10	100	70	630'000	400'000	400'000	40	SI/NO	SI/NO	NO
12/8/10	95	65	970'000	740'000	740'000	35	NO	SI	NO
18/9/10	115	85	1'600'000	820'000	820'000	55	SI	SI	NO
1/11/10	100	70	2'800'000	2'000'000	1'000'000	70	SI	SI	SI
16/11/10	85	55	1'900'000	1'500'000	1'000'000	45	SI/NO	SI	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	SI	NO
12/9/12	115	85	530'000	300'000	300'000	55	SI	SI	NO

Si può pertanto affermare che, facendo riferimento agli ultimi 10 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 1'000'000 m³) avrebbe consentito di evitare n. 3 esondazioni, mentre per due ulteriori eventi 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, il volume degli allagamenti nel quartiere di Niguarda sarebbe stato tuttavia notevolmente ridotto.

Considerando, invece, una realizzazione parziale dell'invaso di laminazione con una volumetria pari a 500'000 m³, pari alla metà di quello stabilito nell'assetto di progetto, si avrebbero ovviamente minori effetti di riduzione delle esondazioni a Milano, sia in termini di numero di eventi (uno in meno rispetto a prima), sia in termini di volumi di allagamento.

	A.T.P.: 	Studio Associato di Geologia Spada		Consulenti: Prof. Dott. V. Mezzanotte
---	--	---------------------------------------	--	---

Invece, 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 valore di portata può essere lasciato defluire nel CSNO), si stima che con la presenza di due invasi di laminazione si sarebbero evitati almeno 9 dei 10 eventi di esondazione: solo nell'evento del 1/11/2010, pur con l'effetto delle 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. L'entità dell'esondazione in tale evento sarebbe però stata ulteriormente ridotta rispetto al caso precedente con il solo invaso di Senago.

7.1.12 Analisi degli eventi con portata del T. Seveso a Palazzolo maggiore di 30 m³/s verificatisi nel periodo 2010÷2012

Prendendo ora come riferimento non solo i 10 eventi del 2010÷2012 che hanno provocato esondazioni a Milano, ma tutti gli eventi meteorici che si sono verificati nel periodo compreso tra il 2010 e il 2012, 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 43 (di cui 10 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) e 8 nel 2012 (di cui 1 che ha causato esondazione a Milano). In media si sono verificati circa 14 eventi all'anno che

avrebbero interessato la vasca di laminazione di Senago;

- il volume laminato complessivamente sarebbe stato pari a circa 13,7 Mm³ (di cui 6,4 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 320'000 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 13 (30% del totale), in particolare: 5 nel 2010, 5 nel 2011 e 3 nel 2012 (in media, circa 4 eventi all'anno);
- gli eventi caratterizzati, invece, da un volume compreso tra 50'000 m³ e 630'000 m³, che quindi avrebbero interessato anche il secondo settore dell'invaso (il volume del secondo settore è pari a 580'000 m³) sono stati 20 (47% del totale), in particolare: 10 nel 2010, 6 nel 2011, 4 nel 2012 (in media, circa 7 eventi all'anno);
- gli eventi caratterizzati, infine, da un volume compreso tra 630'000 m³ e 970'000 m³, che quindi avrebbero interessato anche il terzo settore dell'invaso (il volume del terzo settore è pari a 340'000 m³) sono stati 10 (23% del totale), in particolare: 8 nel 2010, 1 nel 2011 e 1 nel 2012 (in media, circa 3 eventi all'anno).

Nella seguente Tabella 4 sono riportati i risultati di tali analisi.

Tabella 4 – 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	totale	%
n. eventi	23	12	8	43	100%
Volume complessivo invasato [Mm ³]	10.1	2.1	1.5	13.7	
Volume medio ad evento [Mm ³]	0.44	0.17	0.19	0.32	
n. eventi con invaso solo nel I settore (V=50'000 mc)	5	5	3	13	30%
n. eventi con invaso nel II settore (50'000 < V < 630'000)	10	6	4	20	47%
n. eventi con invaso nel III settore (630'000 < V < 970'000)	8	1	1	10	23%

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 58):

- il primo settore dell'invaso sarebbe stato interessato nei tre anni considerati da un numero

di eventi pari a 43 ed in particolare: 23 nel 2010, 12 nel 2011 e 8 nel 2012 (in media, circa 14 eventi all'anno);

- il secondo settore dell'invaso sarebbe stato interessato nei tre anni considerati da un numero di eventi pari a 30 ed in particolare: 18 nel 2010, 7 nel 2011 e 5 nel 2012 (in media, circa 10 eventi all'anno). Di tali 30 eventi, solo in 11 casi il secondo settore si sarebbe riempito interamente o quasi;
- il terzo settore dell'invaso, infine, sarebbe stato interessato nei tre anni considerati da un numero di eventi pari a 10 ed in particolare: 8 nel 2010, 1 nel 2011 e 1 nel 2012 (in media, circa 3 eventi all'anno). Di tali 10 eventi, in 5 di essi il terzo settore si sarebbe riempito interamente.

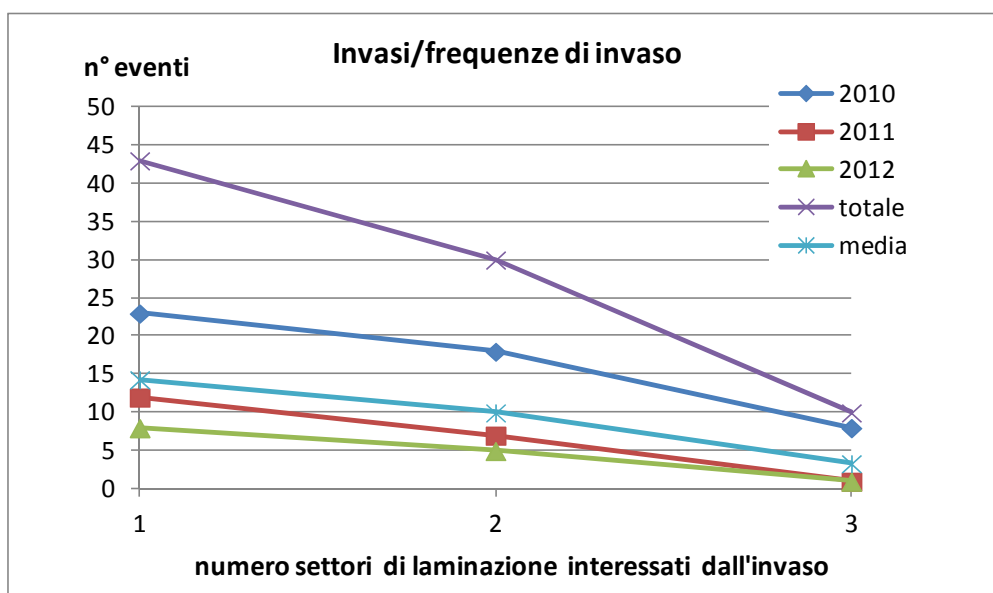


Figura 58 – frequenza con cui sarebbero stati interessati i tre settori dell'invaso nel periodo 2010-2012

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 circa 50 giorni nell'intero periodo 2010÷2012 (circa 17 giorni

all'anno in media), con la seguente ripartizione annuale: 37.5 giorni nel 2010, 7 giorni nel 2011, 5.5 giorni nel 2012 (Figura 59).

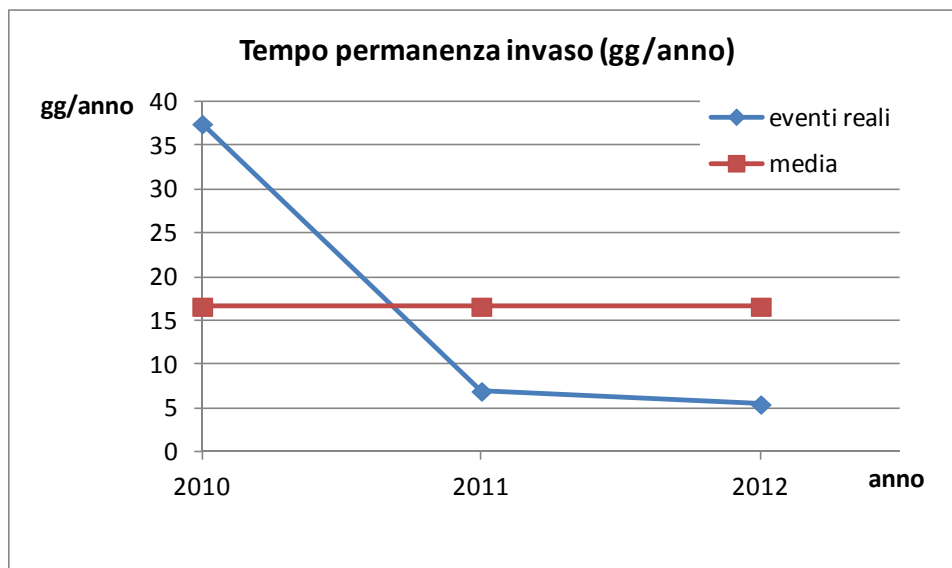


Figura 59 – Tempo di permanenza di acqua nell'invaso di laminazione nel periodo 2010-2012

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 580'000 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 156 m s.m., è caratterizzata da una volumetria di circa 160'000 m³;
- nel terzo settore dell'invaso (volume pari a 340'000 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 156 m s.m., è caratterizzata da una volumetria di circa 95'000 m³;

si ha che dell'intero volume invasato, pari a 13,7 Mm³, circa 4,1 Mm³ (mediamente 1,4 Mm³/anno) verrebbero scaricati a gravità (30%), mentre i restanti 9,6 Mm³ (in media 3,2 Mm³/anno) verrebbero scaricati mediante sollevamento meccanico (70%).

Nel grafico riportato in Figura 60 sono riportati i volumi invasati e la loro suddivisione in

relazione alla modalità di scarico (a gravità o per sollevamento) nei tre anni considerati.

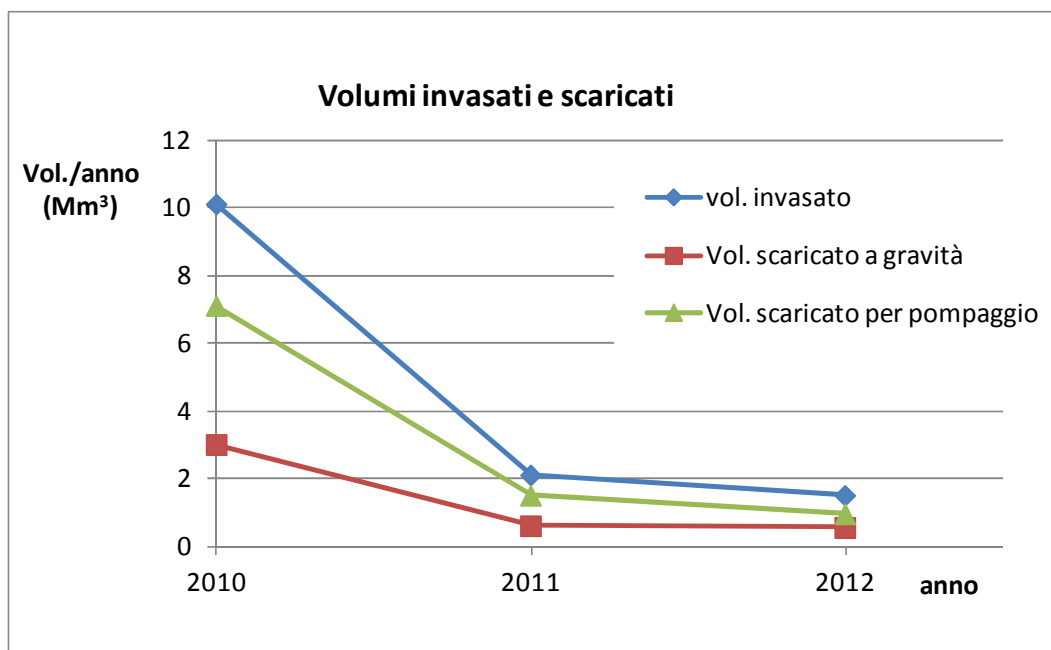


Figura 60 – Volumi invasati e modalità di scarico (a gravità e per pompaggio) nel periodo 2010-2012

In tutte le analisi sopra riportate è contenuto l'anno 2010, il quale è risultato particolarmente gravoso e quindi ha un'elevata incidenza sulle stime effettuate; ad ulteriore dimostrazione si ricorda che in tale anno si sono verificati 8 eventi di esondazione a Milano, mentre il valore medio dal 1976 ad oggi è pari a circa 2,5.

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

Si richiama brevemente quanto riportato nel precedente paragrafo 2.3 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

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 delle 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. 2.3 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.: 	<i>Studio Associato di Geologia Spada</i>		Consulenti: <i>Prof. Dott. V. Mezzanotte</i>
---	--	---	--	---

Milano, aprile 2013

I PROFESSIONISTI INCARICATI:

ETATEC 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